

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

České Budějovice 2008

Jiří Bulánek

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

Teorie třískového obrábění kovů

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý

Autor: Jiří Bulánek

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá teorií třískového obrábění. Úvodní část vymezuje základní pojmy obrábění. Další části pak popisují geometrii nástrojů, jejich materiál, teorii vzniku třísky, působící řezný odpor a síly působící při obrábění a vznikající teplo. Další část popisuje řezné podmínky, produktivitu a hospodárnost třískového obrábění. Závěr práce tvoří technologické postupy při třískovém obrábění.

Vše je sestaveno do textu zpracovaného ve formě učebního materiálu použitelného ve výuce daného tématu na pedagogické fakultě.

The present bachelor`s thesis deals with chip machining theory. The initial part defines essential terms of machining. Other sections describe tool geometry, tool material, chip occurrence theory, cutting resistance in effect and powers acting while machining and created heat. The following section describes cutting conditions, efficiency and economy of chip machining. The conclusion contains technological procedures of chip machining. The whole text is designed as a study material which can be used for teaching of the respective topic at pedagogical faculties.

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

.....
Jiří Bulánek

Poděkování:

Touto cestou děkuji vedoucímu práce PaedDr. Bedřichu Veselému za odborné vedení, konzultace, připomínky a velice vstřícný přístup, který mi pomohl při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	3
1 Něco z historie	4
1.1 Historie vědeckých základů teorie obrábění.....	4
1.2 Přehled významných osobností v oboru teorie obrábění	6
1.3 Podíl vysokých škol a univerzit na výzkumu	6
1.3.1 Účast výzkumných ústavů	7
2 Základní pojmy	8
2.1 Co je to obrábění.....	8
2.2 Obrobek.....	10
2.3 Řezný nástroj	11
2.4 Řezný pohyb	11
2.5 Roviny a úhly řezného nástroje.....	12
2.6 Kinematika obrábění.....	16
3 Geometrie bříty	18
3.1 Břítový diagram čela.....	18
3.2 Břítový diagram hřbetu	22
3.3 Kruhový diagram čela.....	22
4 Nástrojové materiály	23
4.1 Nástrojové oceli	23
4.1.1 Nástrojové oceli uhlíkové	23
4.1.2 Nástrojové oceli slitinové	24
4.2 Slinuté karbidy	25
4.2.1 Třídění a značení SK.....	26
4.3 Keramické řezné materiály	27
4.4 Diamanty.....	27
5 Mechanika tváření třísky	29
5.1 Druhy třísek	30
5.2 Plastická deformace při tvorbě třísky (tváření).....	32
5.3 Objemový součinitel třísky	33
5.4 Tvoření nárůstku	35
5.5 Vliv nárůstku na obrábění.....	36

5.6	Zpevňování obrobené plochy.....	37
5.7	Pnutí po obrábění	38
5.8	Drsnost obrobené plochy	38
6	Práce a síla řezání	40
6.1	Práce při obrábění	40
6.2	Řezná síla.....	41
6.3	Řezný odpor.....	43
7	Teplo a teplota při obrábění.....	44
7.1	Tepelná bilance	45
7.2	Teplota řezání.....	46
7.3	Chlazení a mazání	47
7.4	Řezné kapaliny.....	48
8	Produktivita a hospodárnost obrábění	48
8.1	Opotřebení břítu řezného nástroje.....	49
8.2	Vnější formy opotřebení břítu nástroje.....	49
8.3	Otupení na hřbetě.....	50
8.4	Trvanlivost břítu.....	51
8.5	Produktivita obrábění.....	53
8.6	Volba optimálních řezných podmínek	54
9	Technologický postup	55
10	Závěr	59
11	Seznam použitých zdrojů	60
12	Přílohy	61

Úvod

Třískové obrábění kovů a jeho teorie je velice rozsáhlým vědním oborem v oblasti strojírenského obrábění kovů. Současné strojírenství, zvláště pak odvětví obrábění kovů si dnes nelze představit bez praktického využití třískového obrábění v souvislosti s předešlým vývojem v oblasti teorie obrábění.

Zvláště se zaváděním CNC strojů vyvstávají zcela nové problémy spojené s řeznými podmínkami, trvanlivostí ostří, geometrií nástrojů atp. Dalším impulzem je zavádění nových řezných materiálů do praxe a stanovení nových podmínek pro jejich zavedení do provozu. Další okolností, která nás nutí zcela přepracovat některé pohledy na teorii obrábění je vstup naší republiky do Evropské unie a navázání našich norem na mezinárodní normy ISO a Evropskou normu EN. Toto téma je tedy nanejvýše aktuální a bylo i motivem k tomu, abych si je vybral jako téma mé práce.

V textu se zaměřuji jak na stávající normy, tak na normy již převzaté, případně na ty, které se teprve připravují. Celá řada našich norem po zrušení nebyla zatím nahrazena příslušnými ekvivalenty. Z této situace vyplývá že uvedená oblast je nanejvýš aktuálním tématem.

V práci je zakomponován jak historický vývoj tohoto oboru tak i současné poznatky.

1 Něco z historie

1.1 Historie vědeckých základů teorie obrábění

„Obrábění je vědou s velmi rozsáhlou historií, která z dnešního pohledu není příliš stará. Podstatná část vývoje se odehrávala ve stejném čase jako průmyslová revoluce probíhající v 18. a 19. století“ [2].

Procesy řezání se začaly používat už před mnoha lety, někdy ve starší době kamenné (asi 600 000 až 10 000 let př. n. l.). To člověk začal primitivními řeznými zbraněmi zpracovávat těla zabitých zvířat, ryb a věnoval se otesávání kmenů stromů, stavbě přístřešků atd. Tyto jeho nástroje však byly velice málo účinné, protože materiál na jejich výrobu pocházel převážně z větších kostí zvířat a kamene.

Od té doby došlo k dalšímu vývoji, který se do dnes nezastavil. Významné vývojové stupně, které znamenaly vždy výrazný pokrok v rozvoji výrobních procesů. Jsou to:

- V 15. až 18. století probíhal vývoj mechanizace řezných pohybů strojů, jako například ruční pohon třetivou luku, klikou (ruční nebo nožní pohon) a nebo i vodní pohon atd.
- V tomto období vstupuje na scénu geniální vědec a vynálezce Leonardo da Vinci (1452 - +1519) s myšlenkou soustruhu s nepřerušovaným jednosměrným otáčením. Dále pak jako vynálezce předvídal nebo navrhl princip bagru, odstředivky, pušky, dmyhadla, zemních vrtáků, letadla, padáku, parního beranidla, rýhované hlavně, stroje na výrobu pilníků, šlapacího soustruhu, válcovací stolice na plechy, tiskařského rychlolisu, vodní turbíny, vodních lyží, závitníku a závitnice, tkacího stroje a mnohých dalších strojů.
- Coquilhat M. – 1851 – Belgie – dělostřelecký kapitán – proces vrtání hlavní děl a pušek
- Webe F. – 1858 – Německo – technik – studium řezných tlaků

- Joessel M. – 1865 – Rakousko – technik – řezné síly a krouticí momenty
- Tresca H. – 1873 – Francie – technik – podobně jako Time se soustředil na řešení spojených s tvorbou třísky a řeznými odpory.
- Time J. A. – (1838 – 1920) – Rusko – profesor Petrohradského hornického institutu – experimentálně i teoreticky zkoumal proces řezání a začal formulovat první, všeobecně platné zákonitosti, jimiž se tento proces řídí. Zabýval se zejména tvorbou třísky. Je to objevitel roviny smyku a určil její polohu. Sledoval rovněž odpory vznikající při obrábění. Je považován za zakladatele a průkopníka teorie obrábění. Své objevy publikoval v mnoha knihách.
- Taylor F. W. – (1856 – 1915) – patří mezi známé a uznávané vědce. Zabýval se především vědeckým řízením práce s cílem dosáhnout v co možná nejkratším čase s nejmenší námahou co nejvyššího výkonu. A nadále se v souvislosti s tím věnoval i zvyšování výkonnosti procesů obrábění. V době kdy začínal, se řezné rychlosti při obrábění ocelí pohybovaly kolem 10m/min. Frederickem Winslowem Taylorem na světové výstavě v Paříži roku 1900 předvedl obrábění takovými řeznými rychlostmi a posuvy, že na tehdejší dobu to bylo něco nevídaného. Nejen jeho speciální soustruh uváděl návštěvníky v úžas. Toto posunulo obrábění velkým krokem vpřed. (třísky se barvily do modra, řezný nástroj červenal a při tom zůstával stále ostrý. Řezné podmínky „ rychlostí $v_c = 40\text{m/min}$ při posunu $f = 1,6\text{ mm/ot}$ a při záběru $a_p = 4,8\text{ mm}$). Taylor povýšil obrábění na vědu tím, že společně s Maunselem Whitem provedl desetitisíce pokusů. Z takto rozsáhlých pokusů vyplývalo stálé zlepšování konstrukce obráběcích strojů, které musely odpovídat novým požadavkům. To je jeden z důvodů proč ve 20.století začala na úplně nové úrovni nová výroba. [2]

1.2 Přehled významných osobností v oboru teorie obrábění

Velmi stručně je na tomto místě uveden přehled významných vědecko-výzkumných pracovníků a zemí, ve kterých působili.

- Merchant, Ernst, Shaffer, Lee, ... USA
- Kronenberg, Opitz, Schlesinger, Klopstock, ... Německo
- Usyčev, Brix, Tichonov, Zorjev, Loladze, Barenblatt, Salganik, Maslov, Bokučava, ... Rusko
- Armarego, Brown, Oxley, Palmer, ... Austrálie
- Kobayashi, Hitomi, Inasaki, ... Japonsko
- Ryska, Řezáč, Hirschfeld, Příkryl, Křístek, Bude, Békés, Vasilko, ... ČR+SR [2]

1.3 Podíl vysokých škol a univerzit na výzkumu

Dalším rozvojem teorie obrábění se také začaly postupně zabývat vysoké školy, zejména fakulty strojní a katedry mechanické technologie.

Z neznámějších lze uvést:

- MIT Massachusetts, ... - USA
- TH Aachen, Tu Dresden, TU Braunschweig, ... - SRN
- ETH Zürich, ... - Švýcarsko
- MVTU Baumanova Moskva, LPI Leningrad, GPI Tbilisi ... - SSSR
- ČVUT Praha, VUT Brno, VA Brno, VŠB - TU Ostrava, ZČU Plzeň, TU Liberec ... ČR [2]

1.3.1 Účast výzkumných ústavů

Po II. Světové válce se poznatky, nastřádané v jejím průběhu, dále rozvíjely zejména ve výzkumných ústavech. Tento trend byl nastoupen téměř v celém světě. Několik odkazů na špičkové VÚ:

- ENIMS Moskva, VNII Moskva, ... - SSSR
 - NIISTMN Kyjev, ... - Ukrajina
 - NASA Washington, ... - USA
 - Fraunhofer Institut Berlin, ... - SRN
 - VÚOSO a VÚSTE Praha, VÚ Náradia Nové Zámky, VÚVL Brno, ... ČR
- [2]

2 Základní pojmy

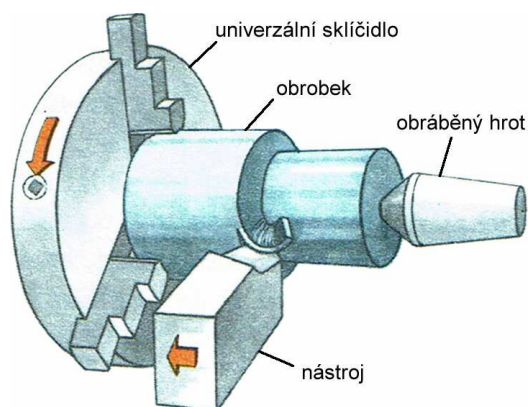
Než budou objasněny pojmy důležité z hlediska potřeb vysvětlení teorie tvorby třísky a samotné teorie obrábění, je nezbytně nutné se se základními pojmy. Tyto pojmy budou srozumitelně vysvětleny v následujícím textu a následně v mnoha případech znázorněny na obrázcích.

2.1 Co je to obrábění

Pokud bychom chtěli znát přesnou definici obrábění narazíme na velké množství různých definic.

Ing.Miroslav Hluchý a kolektiv popsal ve své knize Strojírenská technologie 2 obrábění jako: „Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku klínem řezného nástroje ve formě třísky.

Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek, kde je stroj zastoupen symbolicky univerzálním sklíčidlem a opěrným hrotem“ (obr.1).



Obr.1. Soustava

Stroj – nástroj – obrobek [5]

V širším významu je obrábění jakýkoli technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek, tedy kdy se dosahuje požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu. Patří sem tedy všechny strojírenské technologie, jako je slévání, tváření, řezání, svařování, tepelné zpracování, úprava povrchu, ale i montážní práce.

V užším významu je obrábění technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu odebráním materiálu mechanickými, elektrickými nebo chemickými pochody či kombinacemi těchto pochodů.

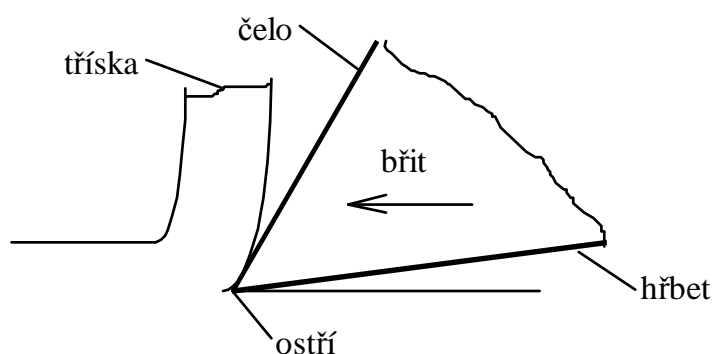
V nejužším významu je obrábění technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu oddělováním přebytečného materiálu ve formě třísek, což nazýváme třískové obrábění.

Třískové obrábění je vlačování řezného klínu do materiálu za účelem dosažení požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu, přičemž dochází k porušení soudržných sil obráběného materiálu, který se odděluje ve formě třísky jako odpadu (obr.1.1)

Základní pojmy třískového obrábění

Řezný klín je funkční prvkem (pracovní částí) každého řezného nástroje. Je tvořen plochou čela, plochou hřbetu a ostřím které vzniká jejich průnikem.

Břit je část řezného klínu v bezprostředním okolí ostří



Obr.1.1 řezný klín popis základních faktorů

Nástroje mohou být jednobřité (např. soustružnické, hoblovací, obrážecí, vyvrtávací nože atp.), nebo vícebřité (např. vrtáky, frézy, výstružníky, protahováky, brusné kotouče atp.)

2.2 Obrobek

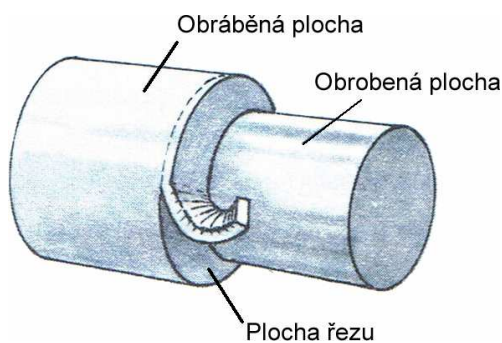
Obrobkem se označuje předmět který je v procesu obrábění, nebo předmět který tímto procesem prošel a již obroběný je. Předmět, který se naopak teprve bude obrábět, se nazývá polotovár. Obráběná plocha je ta část povrchu obrobku, ze které bude odebírán materiál. Plocha která vznikla procesem obrábění se nazývá obrobená plocha. Plocha vznikající bezprostředně přímo za břitem řezného nástroje se nazývá plocha řezu (řezná plocha) (obr.2). [5, 4]

Plochy na obrobku:

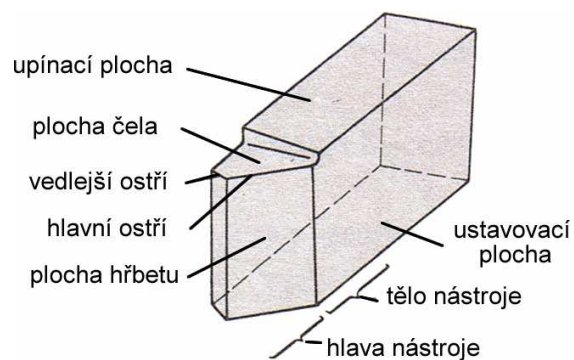
Plocha obráběná – je původní část polotovaru určeného k obrábění, (plocha) která se bude obráběním procesem přetvářet.

Plocha obrobená – je plocha vytvořená obráběním procesem

Plocha řezná – je plocha vznikající bezprostředně za ostřím (bývá často plochou pouze dočasnou). [5, 4]



Obr.2. Obrobek – základní pojmy [5]



Obr.3. Nástroj – základní pojmy [5]

2.3 Řezný nástroj

Řezný nástroj je aktivní prvek při obrábění. Hlava nože (zub nástroje) obsahuje činnou část, břit.

Břit má tvar klínu. Ten je ohraničen plochou čela a plochou hřbetu. Průsečík těchto ploch (čela a hřbetu) se nazývá ostří. Hlava nože má zpravidla hlavní a vedlejší ostří (obr.3).

Ta část, za kterou je nástroj upínán, se nazývá tělo nástroje a má ustavovací a upínací plochu. U některých nástrojů jako např. výhrubníků, výstružníků, vrtáků, atd. je ustavovací plocha shodná s upínací plochou. [5, 4, 1]

2.4 Řezný pohyb

Řezný pohyb vzniká vzájemným pohybem obrobku a nástroje. Uskutečňuje se určitou rychlostí po určité dráze.

Hlavní řezný pohyb - je to otáčivý pohyb vřetene u soustruhů, vrtaček, frézek a nebo také přímočarý pohyb u hoblovek a protahovacích trnů.

Vedlejší řezný pohyb – se nazývá posuv. Výsledný řezný pohyb je geometrickým součtem hlavního pohybu a posuvu. Rychlost posuvu je ve srovnání s hlavním pohybem mnohonásobně menší. Rychlost hlavního pohybu se tedy nazývá **řezná rychlost**. [5]

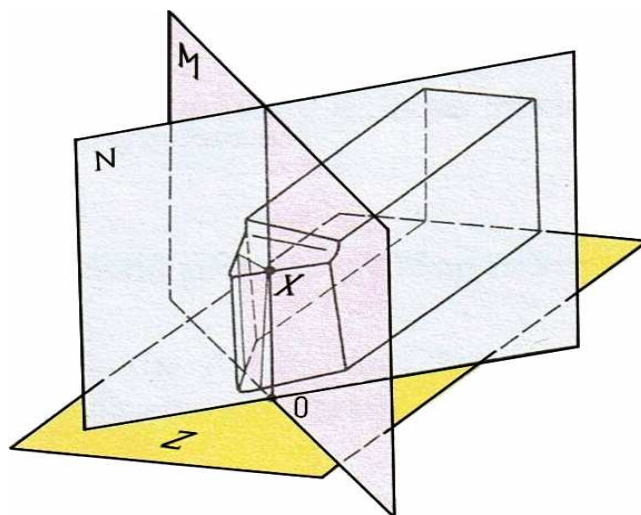
2.5 Roviny a úhly řezného nástroje

Pro určování břitové geometrie a usnadnění výuky problematiky obrábění jsou zavedeny tyto následující pojmy (obr.4).

Základní rovina Z – je rovina, která je kolmá na rovinu řeznou v místě ostří a s ní rovnoběžná je ložná rovina. U rotačních nástrojů (vrtáků, fréz atd.) je to rovina rovnoběžná nebo totožná s rovinou, která je proložena osou nástroje a prochází bodem, ve kterém se geometrie ostří určuje.

Rovina řezu N – je rovina kolmá na řeznou plochu v místě ostří a obsahuje přímku ostří nebo tečnu ostří v bodě, ve kterém se geometrie ostří určuje.

Rovina měření M – je rovina kolmá k oběma předchozím rovinám a prochází bodem, ve kterém se geometrie ostří určuje,[5].



Obr.4. Roviny nástroje – základní pojmy [5]

Geometrie břitu nástroje je určena úhly, které se podle obr.5 označují:

Jednotlivé úhly břitu nástroje se určují v jednotlivých rovinách (obr.5).

V základní rovině Z:

Úhel nastavení hlavního ostří – (kapa „ χ “) – je úhel mezi hlavním ostřím a směrem posuvu (obrobenou plochou), nebo který svírá rovina řezu N se směrem pohybu ostří (posuvu).

Úhel nastavení vedlejšího ostří - (kapa s čarou „ χ' “) – je úhel mezi hlavním ostřím a směrem posuvu (obrobenou plochou).

Úhel špičky nástroje - (epsílon „ ϵ “) - je úhel, který svírá rovina řezu N hlavního ostří s rovinou řezu N' vedlejšího ostří. (*je úhel, který svírá hlavní a vedlejší ostří*)

V rovině měření M :

Úhel hřbetu - (alfa „ α “) - je úhel, který svírá tečná rovina plochy hřbetu s rovinou řezu. (*je úhel, který svírá plocha hřbetu a tečná rovina obrobku v bodě dotyku břítu*). Musí být vždy kladný a jeho velikost se pohybuje od 3° do 15° .

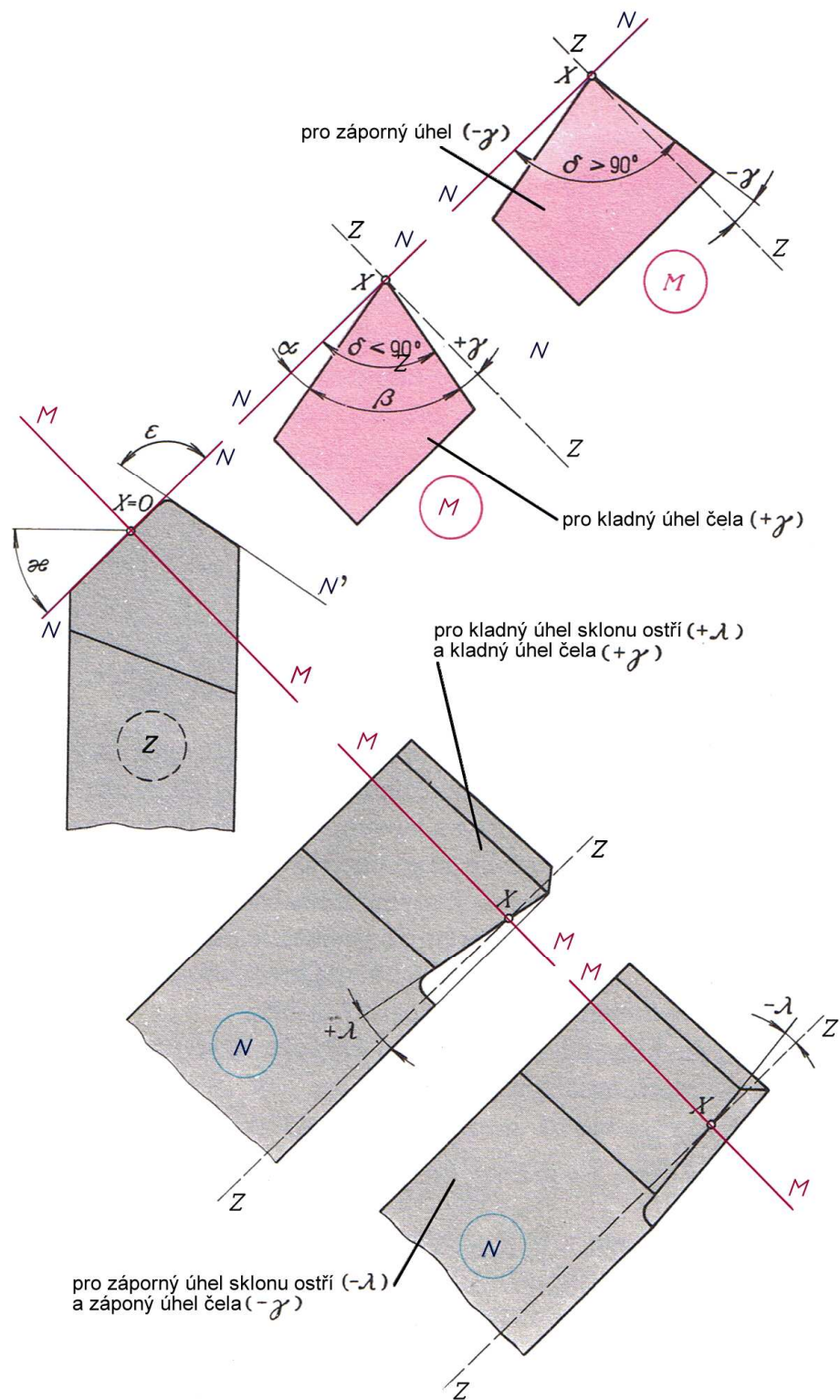
Úhel břítu – (beta „ β “) je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela s tečnou rovinou plochy hřbetu.

Úhel čela – (gama „ γ “) - je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela se základní rovinou. (*Je úhel, který svírá plocha čela s normálovou rovinou v bodě dotyku břítu s obrobkem. Úhel může být kladný i záporný*).

Úhel řezu – (delta „ δ “) - je součtem úhlů alfa a beta.

V rovině řezu N :

Úhel sklonu ostří - (lambda „ λ “) - je úhel, který svírá tečná přímka ostří se základní rovinou (*je úhel, který svírá ostří s rovinou kolmou na směr hlavního pohybu*). [5]

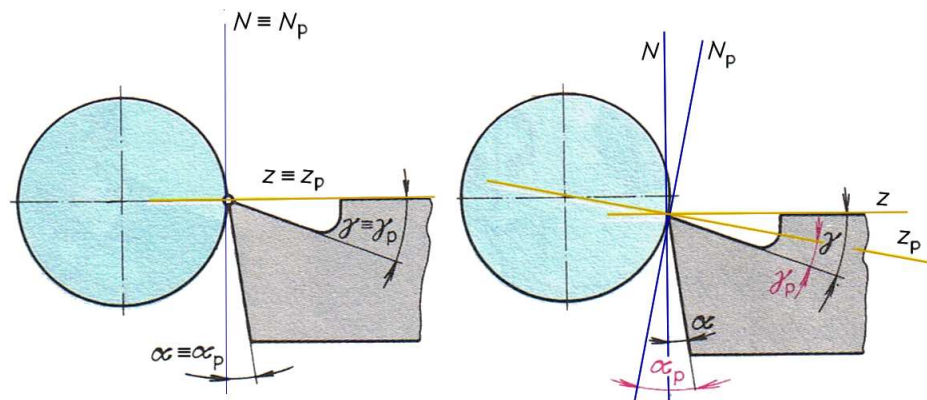


Obr.5. Úhly nástroje [5]

Uvedené části geometrie břitu mají velký význam z konstrukčního pohledu nástroje, jeho výroby a broušení. Jsou to tzv. nástrojové roviny a nástrojové úhly.

Z hlediska funkce, respektive polohy nástroje při práci řezného nástroje vzhledem k obrobku, to jsou pracovní roviny a pracovní úhly. Jsou určovány k základní pracovní rovině Z_p . Tato rovina je kolmá na směr hlavního řezného pohybu. (značení pracovních prvků se provádí dolním indexem p)

Pracovní prvky se od nástrojových prvků liší. Velikost odlišnosti je závislá na vzájemné poloze nástroje a obrobku. Shodují se pouze tehdy, je-li bod ve kterém se geometrie zjišťuje v rovině Z procházející osou obrobku (Obr.6). Jestli že shoda není, je toto nastavení nežádoucí. Pokud bude špička řezného nástroje pod osou, bude při soustružení např. při zarovnávání délek zůstat ve středu (v ose obrobku) neopracovaný materiál (tuplák). V případě, že bude špička řezného nástroje nad osou, bude řezný nástroj namáhán a do řezného procesu nebude zapojena ta část ostří u které je to žádoucí. Toto vysvětlení je velice laicky řečeno. [5, 4,1]



Obr.6. Nástrojové a pracovní prvky [5]

2.6 Kinematika obrábění

Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a současně nástrojem. Řezný pohyb probíhá určitou relativní rychlostí po určité dráze. Téměř ve všech případech obrábění je řezný pohyb složen ze dvou složek :

Zaprvé ze složky **hlavního řezného pohybu**, která se shoduje se základním pohybem, to je například s otáčivým pohybem vřetene u vrtaček, soustruhů, fréze atd., nebo přímočarým pohybem u obrážek a hoblovek.

Zadruhé ze složky **vedlejšího řezného pohybu**. Vedlejší řezný pohyb se nazývá posuv a je kolmý na složku hlavního řezného pohybu. Podle způsobu obrábění může být posuv podélný a příčný. Dále se dá dělit na krokový, plynulý nebo přerušovaný. Velikost posuvu se udává v milimetrech na jednu otáčku obrobku nebo nástroje. U jiných způsobů obrábění např. obrážení se udává velikost posuvu v milimetrech na jeden zdvih (dvojsdvih) pracovního stolu. U vícebřitých nástrojů se udává velikost posuvu v milimetrech na jeden zub.

Vzájemný pohybem mezi nástrojem a obrobkem je **přísuv**. Je zpravidla kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu (velikost třísky). Řezné pohyby různých způsobů obrábění jsou znázorněny na obr.7. Na obr.8 je znázornění rozložení řezných pohybů na konkrétním obráběcím stroji (hrotovém soustruhu).

Výsledný řezný pohyb je dán geometrickým součtem hlavního řezného pohybu a vedlejšího řezného pohybu (posuvu). Pro srovnání je rychlost posuvu (vedlejšího řezného pohybu) zanedbatelně malá vůči rychlosti hlavního pohybu a nemá na výslednou rychlost řezného pohybu velký vliv. Z toho důvodu se rychlost hlavního řezného pohybu nazývá řezná rychlost v .

Pro rotační pohyb se hlavní řezný pohyb určuje ze vztahu:

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (1)$$

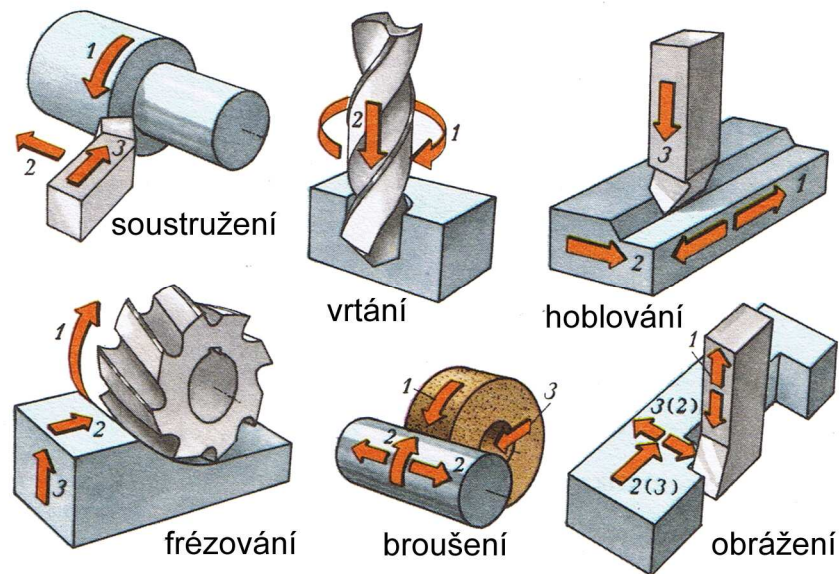
D – je průměr obrobku nebo nástroje (m)

n – otáčky vřetene (min^{-1})

Z toho plyne závěr že: Hlavní pohyb způsobuje vznik třísky.

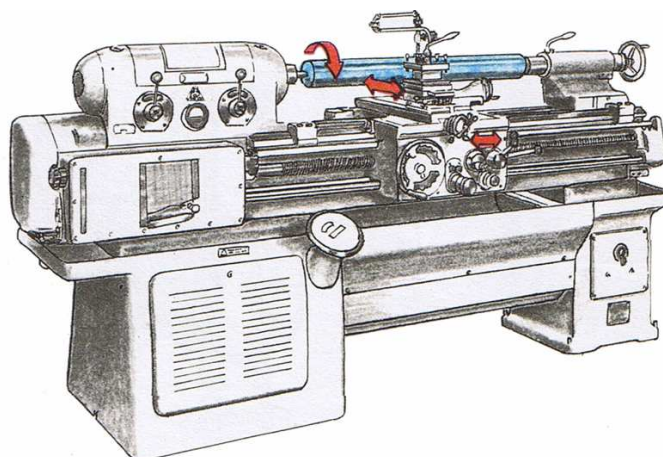
Posuv způsobuje vznik obrobené plochy.

Řezný pohyb vznikne složením hlavního pohybu a posuvu. Je to relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem, čímž se uskutečňuje třískové obrábění. [5, 4]



obr.7. Řezné pohyby [5]

1 – hlavní řezný pohyb, 2 – vedlejší řezný pohyb (posuv), 3 – přísuv



Obr.8. Rozložení řezných pohybů
na hrotovém soustruhu [5]

3 Geometrie břítu

Geometrie břítu zahrnuje soubor úhlových parametrů určujících tvar břítu. Geometrie břítu má zásadní význam na obrábění. Ovlivňuje práci nástroje z hlediska velikosti řezných sil, drsnosti obrobeného povrchu, přesnosti obrobené plochy, trvanlivosti břítu a hospodárnosti obrábění. Aby při obrábění nedocházelo ke ztrátám, je při konstrukci řezného nástroje, zejména při jeho broušení nezbytná znalost geometrie břítu a její vliv na obrábění. Zjišťování a určování všech úhlů břítu které jsou potřebné pro výrobu a následné ostření nástrojů se může provádět třmi metodami:

1. početní metodou
2. grafickou metodou
3. graficko-početní metodou

V technické praxi se převážně používá graficko-početní metoda, která je dostatečně rychlá a přesná. Při této metodě se používá tzv. **břítových diagramů**. [5, 4, 1, 7]

3.1 Břítový diagram čela

Princip břítového diagramu čela popisuje ing.M.Hluchý na soustružnickém noži (obr.9) takto: “Geometrie břítu se určuje ve zvoleném bodě X ostří nástroje, kterým jsou vedeny následující roviny s příslušnými úhly čela: **Příčná rovina 1**, která vytíná v řezu 1 – 1 trojúhelník OXR s **příčným úhlem čela γ_1** .”

Pro tento úhel platí vztah:

$$\cotg \gamma_1 = \frac{OR}{OX} \quad (2)$$

Zvolením délky odvěsny OX za jednotkovou, tj. $OX = 1$, bude přímo

$$\cotg \gamma_1 = OR \quad (3)$$

Podélná rovina 2, která vytíná v řezu 2 – 2 trojúhelník OMP s **podélným úhlem čela γ_2** pro který platí:

$$\cotg \gamma_1 = \frac{OP}{OX} = \frac{OP}{1} = OP. \quad (4)$$

Rovina měření M , zde označena jako **rovina 4**, vytíná v řezu 4 – 4 trojúhelník ONX s **úhlem čela γ** . Pro úhel γ platí:

$$\cotg \gamma = \frac{ON}{OX} = \frac{ON}{1} = ON. \quad (5)$$

V kolmém pohledu A na rovinu řezu N se jeví trojúhelník OLX s **úhlem sklonu ostří λ** , pro který platí:

$$\cotg \lambda = \frac{OL}{OX} = \frac{OL}{1} = OL \quad (6)$$

Protože body R , P , N a L jsou **stopníky** přímek procházejícím bodem X a ležících v jedné rovině (v rovině čela), **musí uvedené body ležet v základní rovině na jedné přímce, na stopě roviny čela**. Stopa roviny čela má pro břitový diagram zásadní význam a proto se nazývá základní přímka roviny čela.

Rovina kolmá k základní přímce roviny čela (rovina 5) vytíná v řezu 5 – 5 trojúhelník OMX s **maximálním úhlem čela. γ_{\max}** . Pro něj platí obdobně:

$$\cotg \lambda_{\max} = \frac{OM}{OX} = \frac{OM}{1} = OM. \quad (7)$$

Trojúhelník ORL v základní rovině s úsečkami OP , ON a OM tvoří vlastní břitový diagram čela, při řešení konkrétního úkolu se rýsuje bez průmětů a řezů nástroje.

Břitový diagram čela má celkem šest prvků: úhel χ a příslušné kotangenty úhlů λ , γ_1 , γ_2 , γ a λ_{\max} . Jsou-li dány hodnoty tří libovolných prvků břitového diagramu

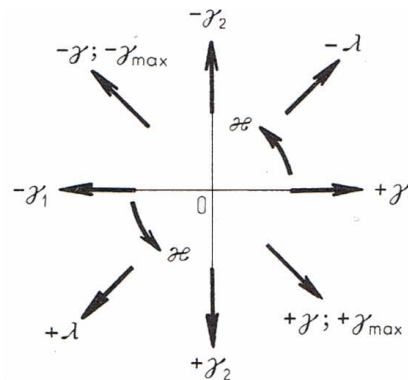
(v praxi jsou to nejčastěji úhly χ , λ , γ) lze diagram narýsovat a hodnoty zbývajících prvků z diagramu odečíst. Je třeba počítat s tím, že některá zadání mají dvě řešení. Při rýsování diagramu a odečítání hodnot se musí dbát měřítko v němž je diagram rýsován.

Příčná rovina 1 a základní přímka roviny čela svírají úhel χ_γ , jehož velikost se určí ze vztahu:

$$\operatorname{tg} \chi_\gamma = \frac{OP}{OR} = \frac{\cot g \gamma_2}{\cot g \gamma_1} . \quad (8)$$

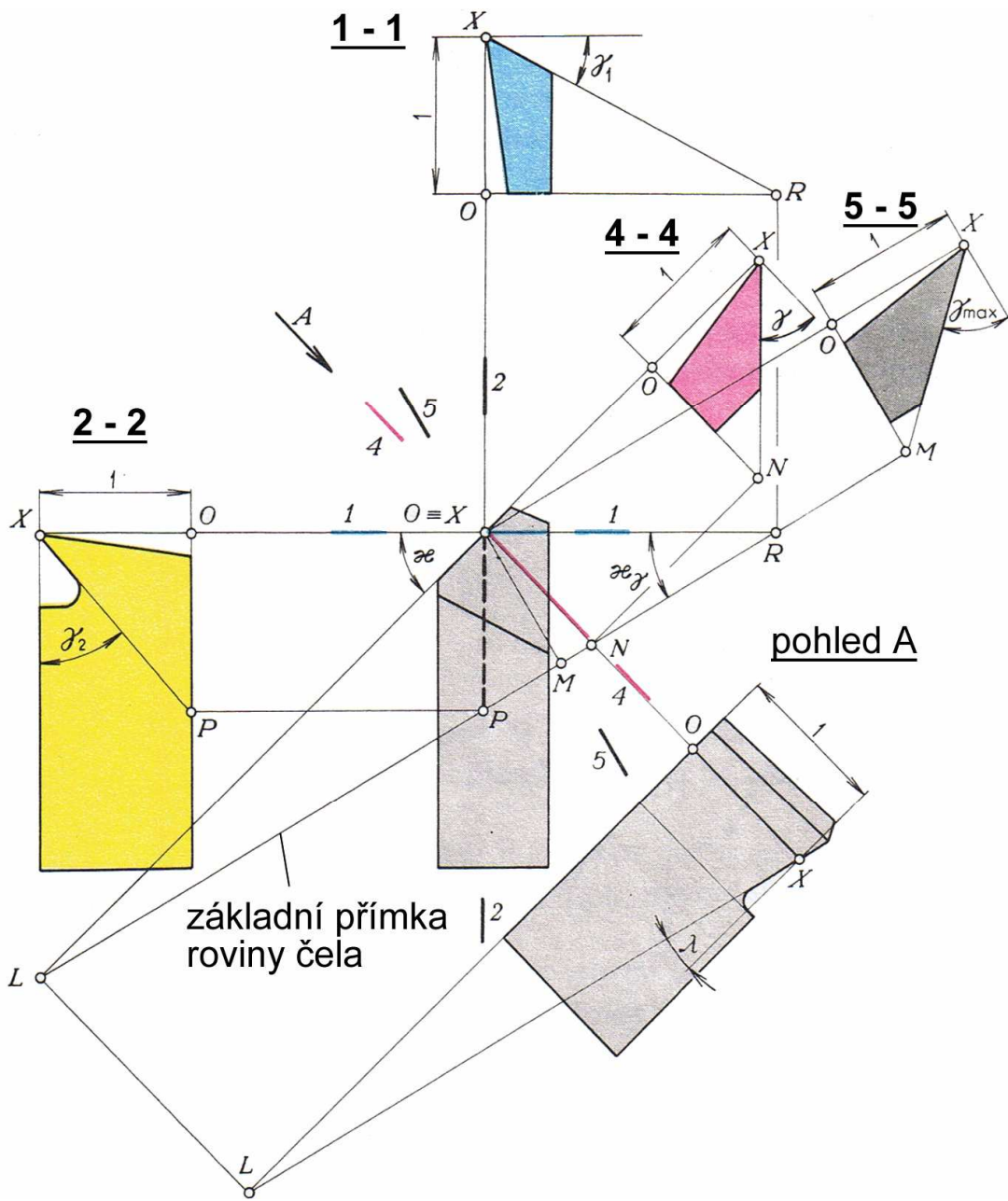
Úhel χ_γ spolu s úhly λ_{\max} mají stěžejní význam pro ustavení nástroje při jeho výrobě a ostření.“

Jejich použití bude podrobněji vysvětleno dále.



Obr.10. Schéma vynášení tangent úhlů [5]

Při sestavování břitového diagramu čela je třeba brát v úvahu kladný nebo záporný smysl jednotlivých úhlů (nelze zaměnit) a vynášet jejich kotangenty podle (obr.10)



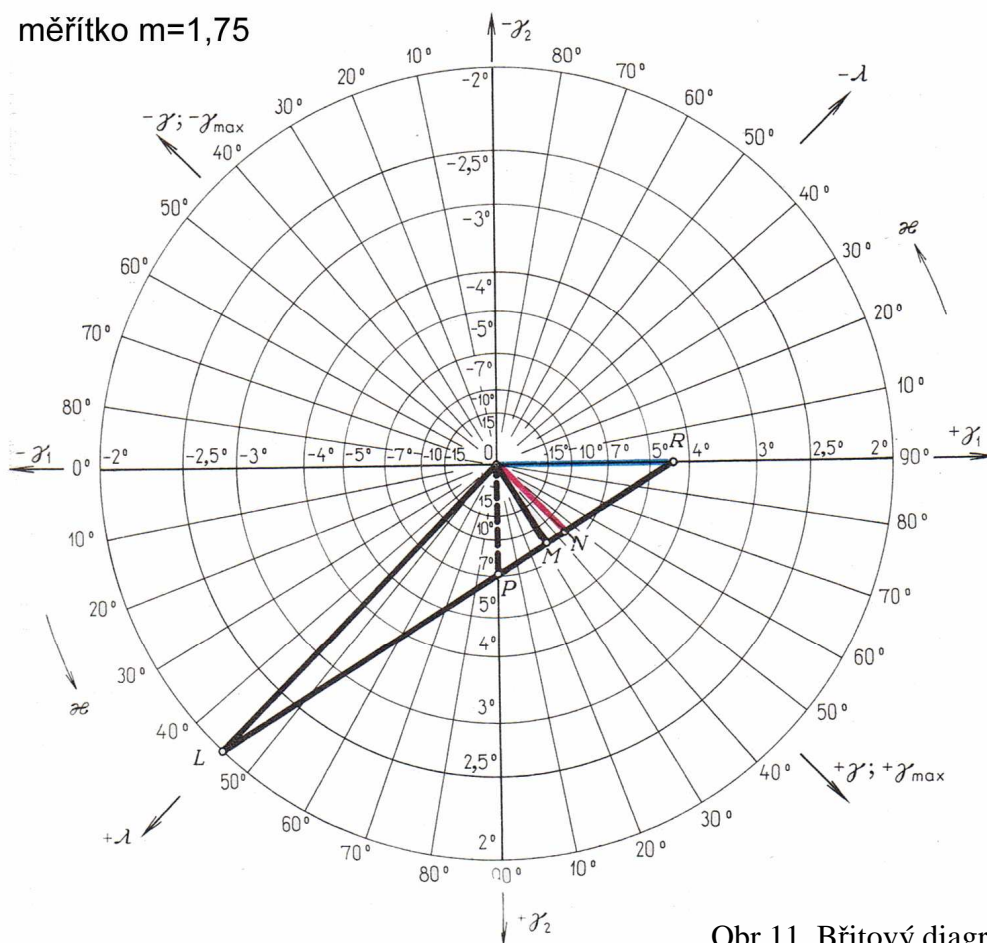
Obr.9. Odvození břitového diagramu [5]

3.2 Břítový diagram hřbetu

Břítový diagram hřbetu je založen na stejném principu jako břítový diagram čela. Ve stejných rovinách, vedených opětovně bodem X ostří soustružnického nože, jsou obsaženy nejen příslušné úhly čela ale i hřbetu. [5].

3.3 Kruhový diagram čela

Kruhové diagramy čela (obr.11) jsou založeny na úhlech ortogonálních a slouží k určení polohy základní přímky jako spojnice dvou bodů odpovídajících dvěma úhlům čela. Poloměry kružnic v diagramu jsou odstupňovány v měřítku kotangent úhlů čela. Měřítko diagramu se volí tak, aby diagram byl dobře čitelný a srozumitelný, [4].



Obr.11. Břítový diagram čela [5]

4 Nástrojové materiály

Břit je nejdůležitější částí nástroje. Závisí na něm průběh vlastního procesu obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění. Je proto nutné věnovat volbě materiálu břitu nástroje velkou pozornost. Vlastnostem materiálu na řezné nástroje, tj. jeho tvrdosti (musí být min. o 6 HRC více než obráběného materiálu), pevnosti, houževnatosti, odolnosti proti otěru a tepelné odolnosti, se říká souhrnně řezivost. Řezivost je dána: chemickým složením, způsobem výroby, tepelným a jiným zpracováním, např. tvářením, pájením apod. V současné době se používají pro řezné nástroje tyto základní materiály:

1. Nástrojové oceli a) uhlíkové.
b) slitinové.
2. Slinuté karbidy.
3. Keramické řezné materiály.
4. Diamanty.
5. Brousicí materiály. [5, 4, 10].

4.1 Nástrojové oceli

4.1.1 Nástrojové oceli uhlíkové

Jsou vhodné především pro ruční nástroje. Pro strojní obrábění se používají jen ve výjimečných případech. Neobsahují přísadové prvky a jejich vlastnosti jsou dány pouze množstvím uhlíku. Používají se především oceli s obsahem uhlíku od 1,0 do 1,35 %, které mají dostatečnou tvrdost i houževnatost a jsou vhodné pro ruční výstružníky, výhrubníky, závitníky, dláta, pily apod. Oceli s vyšším obsahem uhlíku, to jest do 1,5 %, mají vysokou tvrdost, ale nízkou houževnatost a jsou vhodné pro výrobu pilníků. [5]

4.1.2 Nástrojové oceli slitinové

- Oceli manganové (19 3xx)
- Oceli chromové (19 4xx)
- Oceli wolframové (19 7xx)
- Oceli slitinové rychlořezné (19 8xx)

Oceli manganové

Malé množství manganu zpomaluje překrystalizaci po kalení. Křivky diagramu jsou vlivem manganu posunuty k nižším teplotám a delším časům. Oceli obsahující asi 2 % manganu. Při kalení se minimálně deformují a jsou vysoce rozměrově stálé. Tvrdost a odolnost je u manganových ocelí téměř stejná jako u ocelí uhlíkových. Manganové oceli se používají tam, kde záleží na dodržení rozměrové a tvarové přesnosti, jako například na závitníky, závitové čelisti, závitové frézy, ruční výstružníky a měřidla. [5, 10]

Oceli chromové

Při obsahu 4 % chromu jsou oceli kalitelné již na vzduchu. Obsah chromu nad 20 % se projevuje tzv. sekundární tvrdostí. Chrom je kromě karbidů chromu rozpuštěn i v základní hmotě feritu a zvyšuje tak pevnost a houževnatost oceli. Chromové oceli mají dobré vlastnosti co se týče řezivosti a odolnosti proti otěru. Jsou vhodné pro nástroje, u kterých se vyžaduje vysoká tvrdost, houževnatost a snadné tepelné zpracování, jako např. vrtáky, výstružníky, tvarové nože, tvarové frézy a protahovací trny. Díky tomu že si chromové oceli udržují během kalení rozměrovou a tvarovou přesnost jsou také vhodné i pro výrobu nejpřesnějších měřidel.

Chromové oceli jsou také vhodné pro nástroje k obrábění i velmi tvrdých

materiálů, jako je například sklo, mramor, břidlice nebo materiály se špatným odvodem tepla jako jsou např. plasty, tvrdé dřevo atd. [5, 10]

Oceli wolframové

Wolfram je pro nástrojové oceli jeden z velmi důležitým legujícím prvkem a často se kombinuje s chromem a dalšími prvky. Tvoří více druhů karbidů, které jsou velmi tvrdé a stabilní. Wolframové oceli proto vykazují vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Wolframové oceli zachovávají tvrdost i při vyšších teplotách. Vlivem wolframu se měrné teplo ocelí zvyšuje a snižuje se jejich tepelná vodivost. Proto jsou wolframové oceli velmi náročné na tepelné zpracování.

Oceli obsahující do 5 % wolframu, s kombinací chromu a vanadu do 2 %, se používají k výrobě nejkvalitnějších šroubových vrtáků, výstružníků, fréz a chirurgických nástrojů.

Jsou vhodné k obrábění nejtvrdších materiálů a lepenky, korku, pryže, dřeva apod. [5, 10]

Oceli slitinové rychlořezné

Tyto oceli, by měly patřit svým vysokým obsahem wolframu mezi oceli wolframové. Pro své velmi odlišné vlastnosti byly však zařazeny do samostatné skupiny nazvané rychlořezné oceli. Obsahují wolfram, chrom, vanad, molybden a kobalt. Rychlořezné oceli obsahují zpravidla méně než 1 % uhlíku. [5, 10]

4.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (někdy také SK) jsou nástrojové materiály které se vyrábějí práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbidu wolframu, karbidu titanu, karbidu tantalu a kobaltu.

Nejsou to slitiny, ale směsi dvou i více fází. Další tepelné zpracování není možné. Protože slinuté karbidy jsou velmi tvrdé, tvarově a rozměrově se dají upravovat jen v omezené míře pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním.

Množstvím jednotlivých složek při výrobě SK se může ovlivňovat houževnatost, tvrdost a odolnost proti otěru. Při znalosti vlastností jednotlivých složek se může dokonale využít možností jednotlivých typů SK.

Karbid wolframu

- zaručuje tvrdost při vysokých teplotách
- odolnost proti opotřebení
- chemickou stálost.

Karbid titanu

- zvyšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot
- snižuje pevnost slinutých karbidů v ohybu a zvyšuje jejich křehkost
- zhoršuje tepelnou vodivost a zvětšuje tepelnou roztažnost

Karbid tantalu

Má vlastnosti podobné jako karbid titanu a ještě zjemňuje strukturu slinutých karbidů.

Kobalt

Vytváří síťové pojivo mezi zrny karbidů. Karbidy wolframu při slinování v kobaltu jsou rozpustné, vytváří kobalt proti jiným kovům pojivo značně houževnaté a díky tomu je zajištěna pevnost SK v ohybu. Zvyšováním obsahu kobaltu v SK roste jejich tažnost a pevnost, ale zároveň klesá jejich tvrdost. [5, 10]

4.2.1 Třídění a značení SK

Protože je příliš mnoho druhů slinutých karbidů bylo zavedeno jejich třídění a značení, které umožňuje snadnou a správnou volbu a ekonomické využití SK.

Soustava ISO (ČSN 22 0801) rozděluje SK podle chemického složení do tří skupin. Skupiny jsou značeny písmeny P, M, a K. Každá ze skupin je označena jinou barvou pro snadné rozpoznání.

1. Skupina **P** — Je určeny pro obrábění houževnatých materiálů s tvářenou třískou (oceli, oceli na odlitky a temperované litiny). Nástroje jsou označeny ultramarínovou modří.
2. Skupina **M** — Je určena pro univerzální použití k obrábění všech druhů litin, ocelí a těžko obrobitelných slitin. Nástroje se označují chromovou žlutí.
3. Skupina **K** — je určena pro obrábění materiálů s drobivou třískou (šedé litiny, neželezných kovů a jejich slitin, kalených ocelí a plastů). Nástroje jsou označeny višňovou červení.

Dále jsou ještě SK děleny v každé skupině podle mechanických vlastností a číselně označeny dvoumístným číslem (např. 01, 05, 10, 20, 30 Toto není pro naše účely příliš podstatné. [5, 10]

4.3 Keramické řezné materiály

Keramické řezné materiály (někdy jen KM) jsou materiály používané pro specifické účely. Pro jejich výrobu je základní surovina levný a dostupný oxid hlinitý . Nejčastěji se keramické řezné materiály vyrábějí práškovou metalurgií a rovnou slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček. Mají velmi malou pevnost v ohybu. Nejsou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. V porovnání se slinutými karbidy jsou KM při stejné tvrdosti mnohem odolnější proti otěru než SK. Je možno je použít až pro teploty 1 200 °C. Destičky z KM se po otupení všech řezných hran (6 až 8) neostří, dále se nepoužívají a vyhazují se. Dá se říci, že pořizovací cena KM je v porovnání s cenou SK mnohonásobně menší až zanedbatelná. [5, 10]

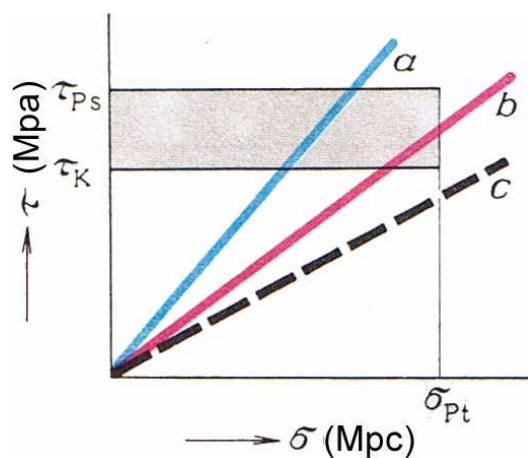
4.4 Diamanty

Diamant je vlastně čistý uhlík se stopami příměsí, které určují především jeho fyzikální vlastnosti a zbarvení. Uspořádání atomů v krystalické mřížce je v tzv. krychlové soustavě s osmnácti atomy. Diamant je nejtvrdší minerál a nelze jej nahradit

ani keramickými řeznými materiály, ani SK. Jako řezný materiál se používá pro jednoduché jednobřité nástroje k jemnému obrábění s plynulým nepřerušovaným řezem. Je nejvhodnější k obrábění měkkých, houževnatých materiálů, neželezných kovů, jejich slitin, tvrzené pryže, plastů, lepenky a všech materiálů s malou tepelnou vodivostí. Zásadní podmínka je obrábění materiálů homogenních. Jinak hrozí, že při každém přerušení řezu, nebo změně průřezu třísky může dojít k poškození diamantu. Diamant je také velice citlivý na otřesy, proto vyžaduje obráběcí stroje s klidným chodem a speciálními upínacími držáky nástrojů. V současnosti se vyrábějí syntetické diamanty z grafitu. [5, 4, 10]

5 Mechanika tváření třísky

Při vnikání břitu řezného nástroje do obrobku je materiál odřezávané vrstvy obrobku velice namáhán a značně deformován. Podle dlouholetých studií bylo zjištěno že deformace probíhají převážně v ohraničené oblasti *OMN* (obr. 12). Způsob namáhání a velikost deformací odřezávané vrstvy jsou především závislé na vlastnostech a druhu obráběného materiálu. Podle poměru pevností v tahu a ve smyku obráběného materiálu mohou nastat následující případy (graf1).



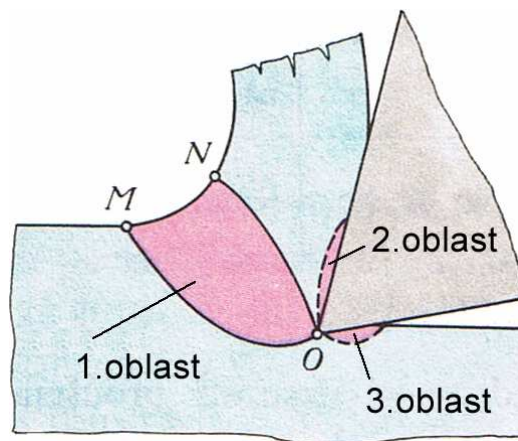
Graf 1.

Namáhání odebírané(odřezávané) vrstvy [5]

1. Namáhání materiálu podle přímky *a*. Tečné napětí dosáhne v tomto konkrétním případě meze kluzu τ_K a meze pevnosti ve smyku τ_{Ps} dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu σ_{Pt} . Materiál odřezávané vrstvy se značně plasticky tváří a následně odděluje.

2. Namáhání odřezávaného materiálu podle přímky *c*, dosáhne-li normálové napětí meze pevnosti v tahu dříve, než tečného napětí meze kluzu τ_K . Materiál obráběné (odřezávané) vrstvy je odtržen a byl tvářen.

3. Namáhání probíhající podle přímky *b*. Mezi krajními případy, tj. namáhání podle přímek *a* a *c* může nastat tento případ. Normálové napětí dosáhne meze pevnosti v tahu dříve než tečné napětí meze pevnosti ve smyku, ale později než meze kluzu a materiál je před oddělením z větší části tvářen. [1, 5]



Obr.12.

Oblast plastické deformace [5]

5.1 Druhy třísek

Tříska je ta část materiálu, která je odebírána z obrobku a za ní vzniká tzv. obrobená plocha. Tříska má zásadní vliv na celý proces obrábění (především na kvalitu povrchu a hospodárnost obrábění), její tvar a celkové vlastnosti závisí na několika faktorech jako jsou např. obráběný materiál a jeho vlastnosti, použitý nástroj (jeho úhly a materiál) dále na řezných podmínkách (otáčky, posuv...) a v neposlední řadě i použité chladivo, o kterém se zmíním později. Z těchto důvodů tedy rozpoznáváme několika různých druhů třísek vznikajících při obrábění.

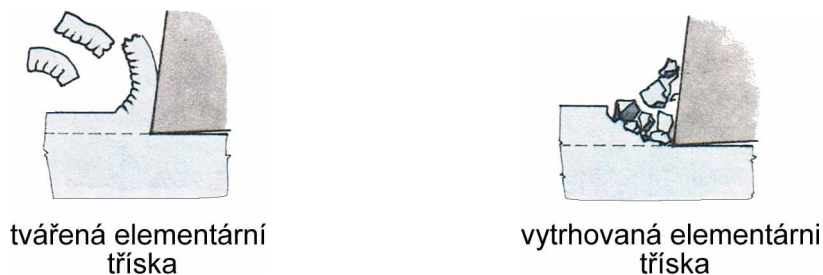
V první řadě vzniká tříska tvářená plastickým kluzem (přímka a). Je soudržná, celistvá a může být plynulá nebo článkovitá. Její vznik je typický při obrábění ocelí, slitin hliníku, mědi a podobných houževnatých kovových materiálů. Názorná ukázka na Obr.13.



Obr.13. Druhy třísek [5]

V druhém případě (přímka c) vzniká tříška štěpením bez předchozího tváření a její vznik je typický při obrábění dřeva, skla, litých hornin a plastů. (tříška elementární obr.15)

V třetím případě (přímka b) vzniká také elementární tvářená tříška, která je typická pro obrábění litiny, bronzů a podobných křehkých kovových materiálů. Obr.14.



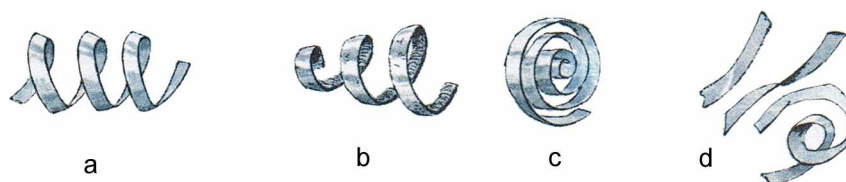
Obr.14. Druhy třísek [5]

Plynulá tříška je na straně čela nástroje hladká a na své vnější straně drsná. Tvoří přímé pásy nebo se stáčí do různých křivek od šroubovic až po spirály.

Článkovitá tříška, která je na straně čela nástroje rovněž hladká a je na své vnější straně nápadně členitá až pilovitá. Soudržnost jednotlivých elementů je menší a snadno se láme na menší části.

Elementární tříška, která není tvářena a nebo jen částečně, je na straně čela nástroje drsná. Na své vnější straně zachovává jakost obráběné plochy.

Dále se běžně při obrábění vyskytují další druhy třísek, jako je například tříška šroubovitá (krátká, dlouhá), spirálová a v neposlední řadě i tříška stuhová. znázornění jejich tvarů je na následujícím obrázku Obr.15. [1, 4, 5]



Obr.15. Druhy třísek

a)šroubovitá dlouhá, b)šroubovitá krátká, c)spirálová, d)stuhová [5]

5.2 Plastická deformace při tvorbě třísky (tvářené)

Při obrábění (řezání) proniká břit řezného nástroje do materiálu a tím způsobuje břit nástroje plastické deformace, které probíhají ve třech oblastech, jak je uvedeno v předchozí části (obr.12).

V oblasti primárních plastických deformací, která je ohraničena přímkami OM a ON , která leží v odřezávané vrstvě (oblast 1).

V oblasti II, která je v malé vrstvě v místě dotyku plochy třísky s plochou čela nástroje, probíhají sekundární plastické deformace.

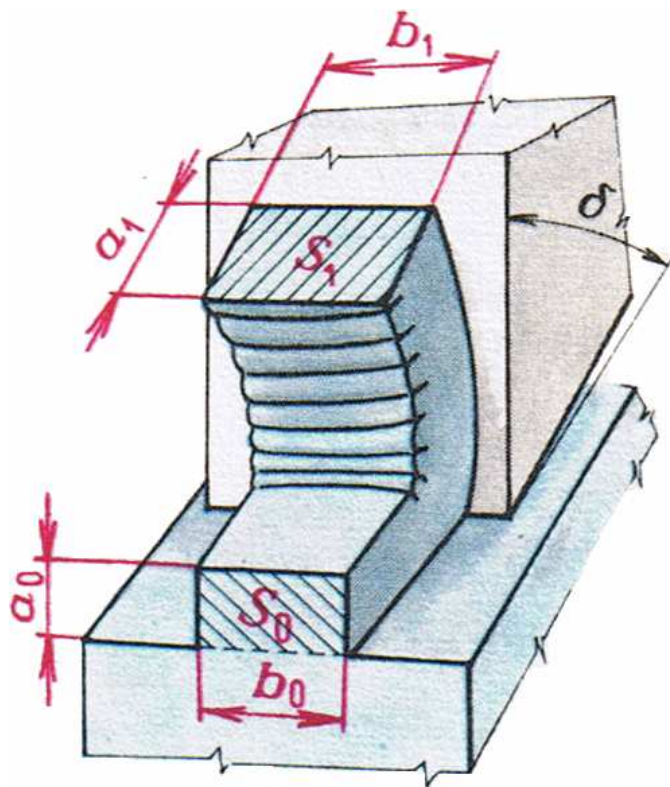
Třetí oblast plastických deformací (oblast III) se nachází v povrchové vrstvě plochy řezu, nebo tzv. obrobené ploše.

Na tvorbě třísky má největší podíl oblast OMN . Tvar a velikost této (OMN) oblasti jsou především závislé na vlastnostech obráběného materiálu, na geometrii břitu, na řezných podmínkách a na řezném prostředí. Tedy oblast OMN je při konstantních řezných podmínkách stálá a zachovává si vůči čelu nástroje stálou polohu.

Vliv plastických deformací má za následek změnu rozměrů odřezávané vrstvy při přeměně v třísku. Rozměry průřezu odcházející třísky jsou vždy větší než průřez odřezávané vrstvy a délka třísky je naopak menší než délka odřezávané vrstvy. Toto se nazývá pěchování třísky. Poměr průřezu třísky ($S_1 = a_1 b_1$) je k průřezu odřezávané vrstvy $S_0 = a_0 b_0$) nebo poměr délky odřezávané vrstvy l k délce třísky l_1 je tzv. **součinitel pěchování K** .

$$K = \frac{S_1}{S_0} = \frac{l_0}{l_1} > 1 \quad (9)$$

Celý tento popis plastické deformace a pěchování třísky je srozumitelně a jednoduše znázorněn na obrázku (obr. 16)



Obr.16. Pěchování třísky [5]

Součinitel pěchování K slouží jako hodnota k posouzení intenzity primární plastické deformace při procesu obrábění. [4]

5.3 Objemový součinitel třísky

K určení objemové velikosti třísky vznikající při obrábění se používá (zavádí) pojem tzv. **objemový součinitel třísky** K_{vo} :

$$K_{vo} = \frac{V_t}{V_m} > 1 \quad (10)$$

V_t – objem třísky při hromadění (třísek)

V_m – objem odřezávaného materiálu před obráběním

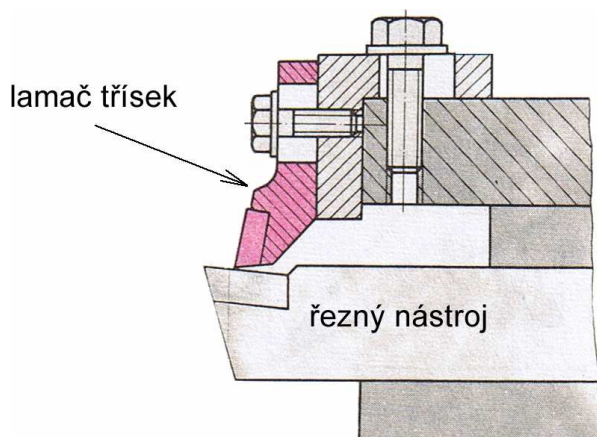
Je-li špatně zvolená geometrie břitu při procesu obrábění a také nepříznivé řezné podmínky, zabírají třísky velký prostor a objemový součinitel třísek může mít hodnotu

až 400. U takových to případů je ohrožena plynulost práce a třísky se z pracovního prostoru obráběcího stroje velice obtížně odstraňují. Proto je tedy velká snaha vytvářet takové podmínky, aby objemový součinitel třísek byl co nejmenší. Zejména toto má velký vliv při obrábění na automatických strojích.

Jestliže známe vlivy působící při obrábění na tvorbu třísky, je potom možno provést taková opatření, která sníží hodnotu objemového součinitele třísek. Několik způsobů jak tomu předejít:

1. Volbou vhodného materiálu s tendencí tvořit drobnou třísku.
2. Změnou geometrie břitu a řezných podmínek.
3. Použitím tzv. lamačů a utvářečů třísek.

Velmi často používaný a mnohdy jediným vhodným způsob je použití lamače nebo utvářeče třísek.



Obr.17. Stavitelný lamač třísek [5]

Na obrázku č.17 je znázorněn stavitelný lamač třísek, který se často používá v technické praxi. Jedno z nejjednodušších opatření k lámání třísek je vybroušení žlábků na čele řezného nástroje. Velikost a poloha žlábků je účinná pro omezení

rozsah řezných podmínek . Ale podstatně hospodárnější (úspornější z hlediska narušení čela břitu) a univerzálnější jsou stavitelné lamače třísek, kterých je značná řada konstrukcí. [1, 4, 5, 7]

5.4 Tvoření nárůstku

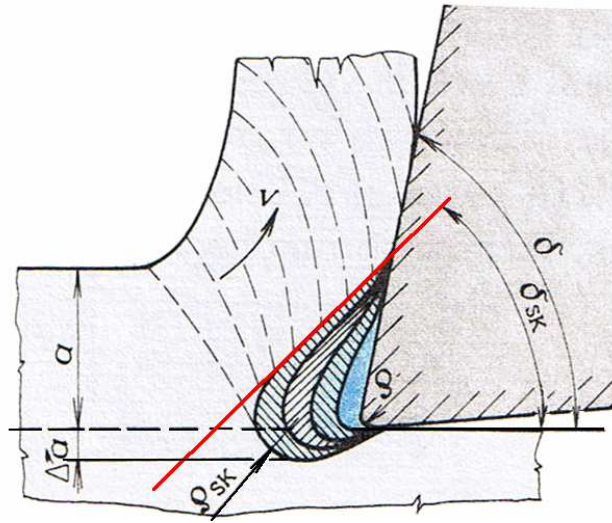
Vlivem tření třísky o čelo nástroje se zoxidovaná vrstva z nástroje setře a dalším působením vysokých tlaků v místě dotyku třísky s čelem řezného nástroje a vysoké teploty třísky se uplatní adhezní síly. V místě dotyku tak dojde k lokálnímu navaření třísky k čelu nástroje. Další pohyb třísky je možný až když dojde k porušení soudržnosti materiálu třísky. Na čele řezného nástroje zůstane část třísky která je navařena na čele a tvoří tzv. nárůstek.

Nárůstek má vysokou pevností a tvrdost. Tvrdost nárůstku je 2-5krát větší než tvrdost obráběného materiálu, respektive třísky. Nárůstek v tomto okamžiku může převzít funkci břitu řezného nástroje. Jednotlivé vrstvy nárůstku postupně přibývají a nárůstek dostává tvar, který je znázorněn na obrázku č. 19. Nárůstek tak mění úhel řezu δ na úhel řezu skutečný tedy δ_{sk} .

K porušení nárůstku dojde, dojde-li k porušení rovnováhy sil působících na nárůstek.

Nejčastěji se odtrhne jen část nárůstku. Jen v málo případech dojde k odtržení celého nárůstku. Po odtržení nárůstku se celý tento děj cyklicky opakuje s frekvencí 10^2 až 10^3 Hz.

Při obrábění ocelí se tvoření nárůstek při teplotě třísek mezi 300°C až 400°C . Nad 600°C se už nárůstek netvoří. Prostředí, které obsahuje mazací prostředky, velmi snižuje tření a čistotu plochy styku kovů. Tímto způsobem je tvorba nárůstku podstatně omezena. [5]



Obr.18. Tvoření nárůstku [5]

5.5 Vliv nárůstku na obrábění

Z výše uvedené části a obr.18 plyne, zmenšuje se vlivem nárůstku úhel řezu δ a zvětšuje se tím poloměr ostří ρ . Zmenšení úhlu řezu δ_{sk} proti předpokládanému δ má za následek zúžení oblasti OMN .

Při větším poloměru ostří δ_{sk} se zvětšuje tloušťka odřezávané vrstvy o Δa a způsobuje větší deformaci obrobené plochy. Při obrábění na čisto je nezbytně nutné počítat s tím, že se o hodnotu Δa mění též rozměr vyráběného obrobku.

I přes to, že stabilní část nárůstku chrání břit řezného nástroje před otěrem, bývá velice často výsledné opotřebení nástroje větší následkem vylamování ostří.

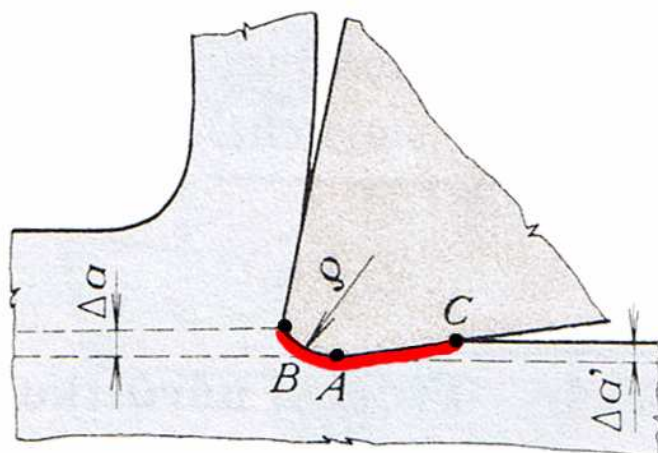
Co se týče jakosti obrobené plochy má nárůstek velice negativní vliv, neboť části rozpadajícího se nárůstku se uchycují na obrobené ploše a tím zhoršují drsnost obrobené plochy. [5]

5.6 Zpevňování obrobenej plochy

Jelikož ostří nástroje však není dokonalá hrana, ale je zaoblená plocha s poloměru 5 až 20 μm , je dotyk břitu nástroje s plochou řezu na ploše BAC (obr.19). Vlivem zaoblení ostří řezného nástroje je vrstva materiálu o tloušťce Δa stlačována a plasticky sekundárně tvářena. Stlačený materiál po přechodu břitu přes plochu řezu vystoupí o část pružných deformací $\Delta a'$.

U některých materiálů se tvoří tzv.zpevněná vrstva, která se tvoří pouze u plastických materiálů se sklonem ke zpevnění. Hloubka a intenzita zpevněné vrstvy je závislá na vlastnostech materiálu, poloměru břitu a také ještě na řezné rychlosti, tloušťce a šířce odřezávané vrstvy a dále pak ještě na úhlu hřbetu, úhlu řezu a poloměru špičky nástroje r .

Je-li zpevněná vrstva dobře soudržná se základním materiálem, má velmi dobrý vliv na mechanické opotřebení obrobenej plochy a tím se zvyšuje její odolnost proti korozi. [4, 5]



Obr.19. Dotyková plocha [5]

5.7 Pnutí po obrábění

U některých způsobů obrábění, zpravidla těch, které mají velké mechanické zatížení při nízkých teplotách povrchové vrstvy obrobku, z velké části značně převažuje vliv plastických deformací nad teplotou a v povrchových vrstvách obrobené plochy vzniká tlakové napětí.

Naopak u obrábění, kde teplota povrchových vrstev má vysoké hodnoty např. (při obrábění se slinutými karbidy 800°C a až 1200°C při broušení), je dopad teploty převládající. Povrchová vrstva která je ohřátá má při ochlazování na nižší teplotu sklon ke zmenšování svého objemu. Naopak spodní vrstvy, které si udržely nízkou teplotu, udržuje stále stejný objem a brání smršťování povrchových vrstev. Díky tomu vzniká v povrchové vrstvě tahové napětí.

Pnutí v povrchových vrstvách následkem obrábění má velký vliv na vlastnosti obrobku. Je tím především ovlivněna mez únavy.

Tahové napětí na rozdíl od tlakového pnutí mez únavy snižuje a to je příčinou únavových lomů

Pnutí je proces mnohem složitější. Proto probírat tuto problematiku příliš do hloubky nemá pro naše podmínky příliš velký význam. [1, 5]

5.8 Drsnost obrobené plochy

Drsnost obrobeného povrchu (plochy) je dána několika faktory. Především stopami které zanechává břit řezného nástroje. Dále pak je drsnost obrobené plochy závislá nejen na mechanických a fyzikálních vlastnostech, ale také na tvaru a geometrii břitu, na velikosti posuvu, na řezné rychlosti, na řezném prostředí a především na tuhosti celé soustavy (stroj – nástroj - obrobek).

Co se týče geometrie břitu nástroje ovlivňuje drsnost obrobené plochy nejvíce nastavení úhlu χ a χ' , tedy úhel nastavení hlavního a vedlejšího ostří (při větších posuvech). Větší úhly mají za následek větší drsnost obrobené plochy obr.20. V případě

že je malý poloměr zaoblení špičky a je požit malý posuv se význam hlavního a vedlejšího ostří tedy χ a χ' neuplatňuje.

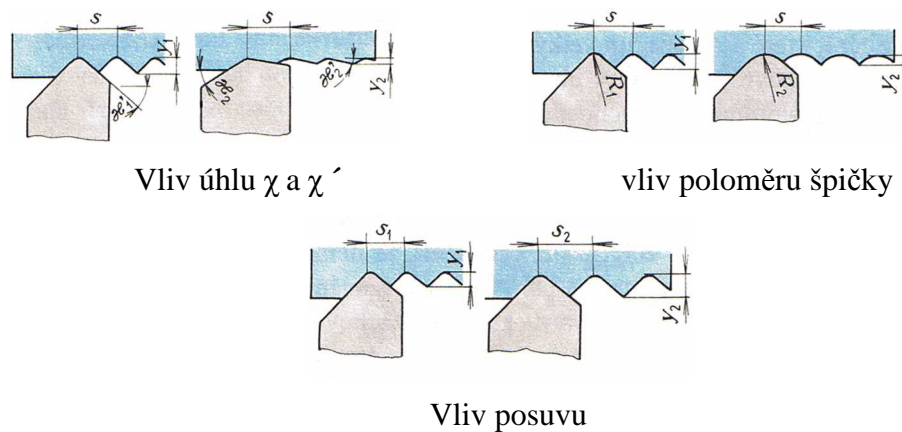
Větší poloměry zaoblení špičky nástroje drsnost obrobenej plochy snižují především při malých posuvech a také malé hloubce řezu.

Největší vliv na drsnost má však posuv. S rostoucím posuvem úměrně roste i drsnost obrobenej plochy.

Co se týče řezné rychlosti, ta ovlivňuje drsnost obrobenej plochy méně než posuv. Větší drsnost se projevuje převážně při malých řezných rychlostech, kdy je pravděpodobnost tvoření nárůstku.

Dále se ale také na drsnost obrobenej plochy příznivě projevuje řezné prostředí s použitím řezných kapalin a olejů, které mají mazací účinek. Toto je obzvláště vhodné při obrábění na čisto a při malých řezných rychlostech, kdy účinek kapalin zabraňuje tvoření nárůstku a snižuje tření na ploše řezu.

Tuhost soustavy (stroj – nástroj - obrobek) je další faktor, který má vliv na drsnost obrobenej plochy. Malá tuhost soustavy = vznik chvění a tím dochází ke zvýšení drsnosti obrobenej plochy. Chvění se dá předejít pevným upnutím obrobku, použitím co možná nejmenším vyložení nástroje, zvětšením úhlu nastavení ostří χ , změnou řezné rychlosti nebo zvětšením posuvu. [1, 4, 5, 7]



Obr.20. Drsnost obrobenej ploch [5]

6 Práce a síla řezání

6.1 Práce při obrábění

Při každé operaci která se vykonává při obrábění je třeba vykonat určitou práci. Při procesu třískového obrábění se dělí práce na několik druhů:

- Práci plastických deformací
- Práci elastických deformací
- Práci tření na čele nástroje
- Pasivní práci deformační
- Pasivní práci tření

Práce plastických deformací značí se A_p – je to práce vynaložená na plastické deformace obráběného materiálu v oblasti OMN . Tato práce obsahuje až 80 % z celkové práce. Tudíž je to základní složka.

Práce elastických deformací značí se A_e – tato práce je celkem malá. Její hodnota není z pravidla větší než 2 % z celkové práce.

Práce tření na čele nástroje značí se $A_{t\epsilon}$ – tato práce je závislá na odvodu třísky. Hodnota této práce může dosáhnout až 35 % celkové práce.

Pasivní práce deformační značí se A_d – vztažena k ploše BAC obr. 20 je to následek nedokonalého ostří s poloměru ρ . Velikost této práce je zanedbatelná.

Pasivní práci tření značí se A_{th} – při obrábění může dosáhnout až hodnoty několika desítek % .Závisí na tření plochy hřbetu po ploše řezu.

Určit hodnoty jednotlivých prací je příliš složité, pro naše účely nepodstatné a proto se touto problematikou nebudeme dále zabývat. Následující vztah je pouze pro celkovou práci. [5]

$$A = F \cdot v \cdot t \cdot \cos \omega \quad (11)$$

Fvýsledná řezná síla

Ωúhel vektoru obr.23

vřezná rychlost

tčas obrábění

6.2 Řezná síla

Pro jednodušší pochopení se používá příklad, kdy se oblast primárních deformací díky vlivu řezných podmínek zúží tak, že body M a N splynou v jeden. Tříška se v tomto případě bude tvořit pouze na jedné ploše kluzu obr. 21.

Síla řezného odporu se značí F_R , je to síla kterou působí obráběný materiál proti vnikání břitu řezného nástroje. Tato síla je geometrickým součtem normálového napětí σ a tečného napětí τ na ploše kluzu a je v rovnováze s řeznou silou F která musí působit na břit nástroje.

$$F_R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (12)$$

Vektor řezné síly F má v prostoru danou polohu. Úhel ω je úhel působení řezné síly. Velikost tohoto úhlu charakterizuje silové poměry probíhající v oblasti tvoření třísky.

Hlavní řezná síla F se může rozložit (nahradit) na tři složky, které jsou na sebe navzájem kolmé a leží v osách x , y a z . obr. 22. Jsou to složky:

- F_x – je složka rovnoběžná se směrem vedlejšího řezného pohybu (posuvu), jinak taky axiální složka.
- F_y – je složka kolmá na osu rotace obrobku (při soustružení), nebo na osu rotace nástroje (při frézování, vrtání...).
- F_z – je tečná na směr hlavního řezného pohybu.

Vztah složek k hlavní řezné síle je dán rovnicí:

$$F = \sqrt{F_Z^2 + F_Y^2 + F_X^2} \quad (13)$$

Vzájemný poměr jednotlivých složek je měnný a především je závislý na geometrii břitu nástroje.

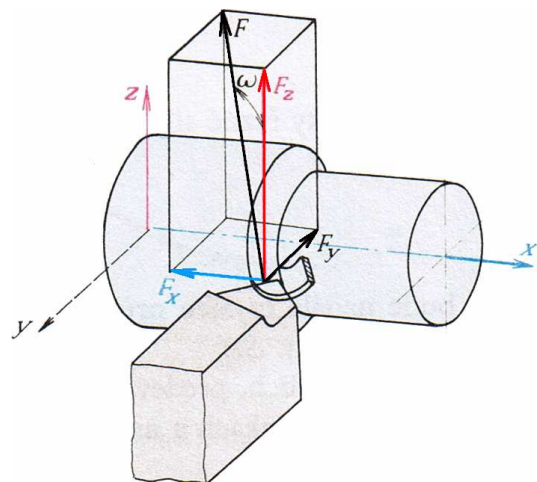
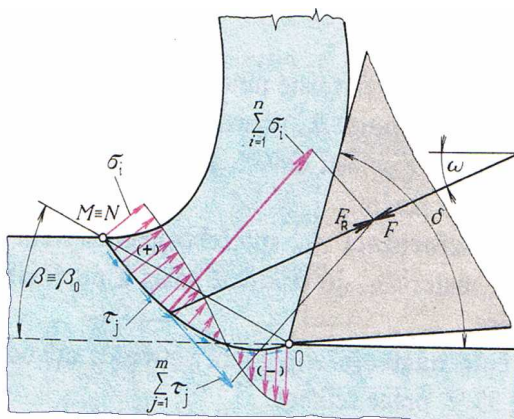
Příklad: Pro úhel nastavení hlavního ostří = 45° je převážně poměr:

$$F_X : F_Y : F_Z = 0,5 : 0,4 : 1 \quad (14)$$

Ovšem největší význam z těchto složek má složka F_Z , která určuje velikost krouticího momentu u rotačních způsobů obrábění (soustružení, vrtání, frézování aj.). Složka F_Z spolu s řeznou rychlostí určuje výkon při obrábění. [5]

$$P = F_Z \cdot v$$

(15)



Obr.21. Rozložení napětí na ploše kluzu ($M = N$) [5]

Obr.22. Řezné síly [5]

6.3 Řezný odpor

Řezným odporem se značí „ p “, a je to poměr složky řezné síly F_z a plochy průřezu třísky S . Tedy pro řezný odpor platí vztah:

$$p = \frac{F_z}{S} \quad (16)$$

Přezný odpor

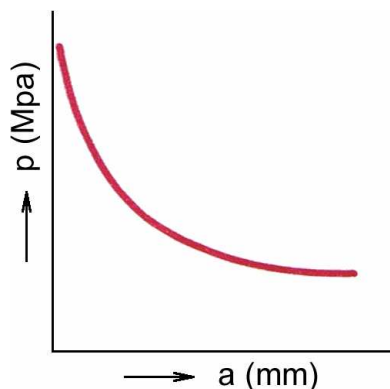
F_zsložka řezná síly

S průřez třísky

Řezný odpor p je závislý na mnoha faktorech, zejména na vlastnostech obráběného materiálu, na řezných podmínkách a na geometrii břitu řezného nástroje.

Z toho plyne že řezný odpor je funkcí pevnosti, tvrdosti, tloušťky třísky atd.

Z řezných podmínek je řezný odpor nejvíce závislý na tloušťce třísky a . Závislost řezného odporu na tloušťce třísky je přibližně hyperbolického průběhu graf 2.



Graf2. Závislost řezného odporu na tloušťce třísky

Menším tloušťkám třísky odpovídají větší hodnotě řezného odporu, což se vysvětluje: větším zpevněním v oblasti OMN a relativně většími pasivními odpory.

Názorná ukázka hodnot řezného odporu na jednotlivých druzích materiálu používaných ve strojírenství je v následující tabulce 1, kde je u litin udávána tvrdost HB místo pevnosti jako u ostatních materiálů. [5]

Tab.1. Hodnoty řezného odporu [5]

Materiál	σ_{pt} (Mpa)	Řezný odpor p (Mpa)		
		soustružení	frézování	vrtání
Uhlíková ocel	450	2100	3650	2700
Uhlíková ocel	600	2160	4500	3400
Uhlíková ocel	700	2450	4950	4000
Chromniklová ocel	500	2500	5050	4300
Chromniklová ocel	700	2800	5400	5200
Bronz	200 až 300	1100	1750	1500
Bronz	300 až 500	1400	2100	1800
Hliníkové slitiny	180 až 250	850	1300	1150
Hliníkové slitiny	250 až 350	1150	1450	1300
Šedá litina	140 až 160	1380	2650	1750
Šedá litina	160 až 180	1480	2800	2050
Šedá litina	180 až 200	1580	3050	2500

7 Teplo a teplota při obrábění

Dá se říci, že každá práce, která probíhá při procesu obrábění, (tedy mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a zároveň odvedení třísky z místa řezu), se přeměňuje v teplo.

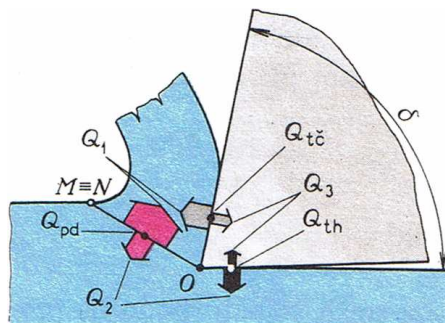
Teplo vzniká v malé oblasti a důsledkem jsou vysoké teploty, které dosahují až 1000 °C. Teplota jako celek má zásadní vliv na :

 přesnost obrábění

 jakost obrobenej plochy [4, 5]

7.1 Tepelná bilance

Teplo vzniká při obrábění tak, že se přeměňují dílčí práce v jednotlivých místech jejich zdrojů. Názorná ukázka na obrázku 23.



Obr.23. Zdroje tepla [5]

Q_p – vzniká přeměnou práce plastických deformací, v oblasti OMN

$Q_{tč}$ – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše čela

Q_{th} – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše hřbetu

Celkové množství tepla se značí velkým písmenem Q , a tato hodnota se určí s požadovanou přesností z práce vykonané složkou řezné síly F_z podle následující rovnice:

$$Q = A \approx F_z \cdot v \cdot t \quad (17)$$

Při obrábění je vznikající teplo z velké části odváděno třískou. To budeme značit Q_1 , z menší části je teplo odváděno obrobkem Q_2 a v neposlední řadě nástrojem Q_3 . Ovšem nesmíme zapomenout i na tu část tepla, která je vyzářena do prostoru (okolí) Q_4 . Velikost jednotlivých složek odváděného tepla je závislá:

- na tepelné vodivosti materiálů, (jak obrobku tak i nástroje)
- na řezných podmínkách, (převážně na řezné rychlosti)
- na řezném prostředí, (způsobu chlazení a mazání)
- na geometrii břitu řezného nástroje.

Pro dílčí zdroje tepla a pro jednotlivé složky odváděného tepla platí rovnice tepelné bilance:

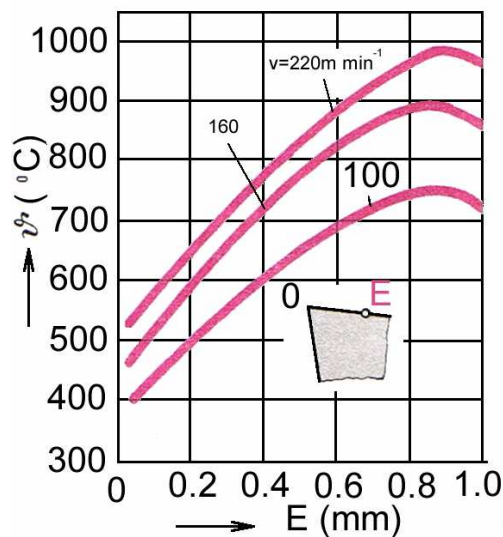
$$Q_p + Q_{tc} + Q_{th} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (18)$$

[4, 5]

7.2 Teplota řezání

Teplota vznikající při obrábění má vliv na zvýšení teploty v místech zdrojů tepla a v jejich okolí. Teplota má velký vliv na stav břitu řezného nástroje, převážně na rychlost jeho opotřebení (otupení). Teploty na čele řezného nástroje jsou o 50 až 100 % vyšší než na hřbetě nástroje. Proto jsou z hlediska opotřebení řezného nástroje a dále ještě pak z ekonomických důvodů významnější teploty na čele nástroje. Nejvyšší teplota není však na špičce nástroje, ale místo s největší teplotou je vlivem poloměru špičky nástroje posunuto. Charakter tepla v závislosti na vzdálenosti od špičky je na obrázku.26.

V místech kde je nejvyšší teplo na čela dochází k nejintenzivnějšímu opotřebení řezného nástroje (Graf 3.).



Graf 3. Teplota čela řezného nástroje [5]

Určování teplot v jednotlivých místech nástroje je velmi složité a proto se určuje pouze střední teplota styčné plochy čela s třískou, která se nazývá teplotou řezání v. Překračováním mezních teplot řezání se velice rychle snižuje tvrdost břitu nástroje. Ten pak následně ztrácí své řezné schopnosti a velice prudce narůstá jeho opotřebení.

Znalost teplotních vlivů je důležitá vzhledem k rozměrové a tvarové přesnosti obrobku a má velký význam při obrábění na čisto. Pro představu jsou v tabulce č. 2 uvedeny přípustné hodnoty řezání s přibližnými řeznými rychlostmi. [4, 5]

Tab.2. Hodnoty řezání [5]

Materiál břitu řezného nástroje	Max. přípustná teplota řezání (°C)	Řezná rychlost (m min⁻¹)
Slitinová ocel	260	12 - 18
Rychlořezná ocel	560	24 - 36
Slinuté karbidy	700 - 1100	60 - 150
Keramické materiály	1100 - 1200	170 - 300

7.3 Chlazení a mazání

Nežádoucí vliv tepla a teploty se dá snížit volbou vhodného prostředí při obrábění. Úkolem řezného prostředí je odvádět teplo z oblasti jeho tvoření, snížit práci vlivem tření, snížit intenzitu otupování řezného nástroje, zlepšit jakost obrobené plochy a odvádět třísky z místa řezu.

Základní požadavky na řezné prostředí jsou mazací a chladicí účinky.

Mazací účinky se projevují snížením tření na aktivních plochách nástroje a tak se usnadňuje plastické deformace třísky. Řezný odpor se tímto dá snížit až o 25 %. Mazáním se velice zlepšuje jakost obrobené plochy.

Chladicí účinky snižují teplotu a snižují tak i opotřebení nástroje, např. u rychlořezných ocelí se snižuje teplota vznikající při obrábění až na pětinu oproti obrábění za sucha. [5]

7.4 Řezné kapaliny

V dnešní době je na trhu celá řada řezných kapalin, roztoků a olejů s různými vlastnostmi. Proto se nejčastěji jako řezného prostředí používá řezných kapalin. Řezné kapaliny mohou být vodní roztoky, emulze olejů, tuků a vody ale i řezné oleje. Každá z těchto kapalin je vhodná pro jiný druh obráběného materiálu a také závisí na způsobu obrábění.

Vodní roztoky – jsou to převážně roztoky uhličitanu a křemičitanu sodného nebo dusitanu sodného a dalších látek. Tyto vodní roztoky mají dobré chladicí účinky. Používají se převážně při broušení.

Emulze – jsou to nejčastěji směsi vody s rozptýlenými oleji a tuky. Aby nedocházelo ke slévání tuků a olejů přidávají se tzv. emulgáty. Tyto emulze mají velice dobré chladicí i mazací účinky a jsou nejpoužívanější řeznou kapalinou. Emulze se dodávají převážně neředěné a ředí se vodou podle návodu nebo podle potřeby. Lze je používat několikanásobně, ale musí se počítat s tím že při opětovném používání se jejich mazací a chladicí účinky snižují.

Řezné oleje – u řezných olejů jsou převážně jen mazací účinky. Ty zajišťují vysokou jakost obrobené plochy a zároveň malé opotřebení řezného nástroje. Nejčastěji se používají při řezání závitů, protahování a při obrábění ozubení. [4, 5]

8 Produktivita a hospodárnost obrábění

Obrábění se hodnotí jak po kvalitativní stránce, tak i po stránce ekonomické. Při základní volbě řezných podmínek se zavádí takzvané optimální řezné podmínky. Optimální řezné podmínky jsou takové podmínky, při kterých se na konkrétním obráběcím stroji a přesně daném nástroji dosáhne předem požadované kvality obrobku s minimálními náklady na obrábění. [5].

8.1 Opotřebení břitu řezného nástroje

Opotřebení, nebo-li (otupování), řezného nástroje je postupně probíhající proces, kdy dochází ke zvětšování poloměru ostří. Díky tomu dochází ke zhoršování drsnosti plochy čela a hřbetu v místech dotyku s třískou a plochou řezu. Z toho následně plyne, že dochází k postupné změně geometrie břitu. K opotřebení břitu řezného nástroje dochází otěrem stykových ploch, plastickou deformací povrchových vrstev břitu a křehkými lomy, které vznikají na ostří a narušují ho.

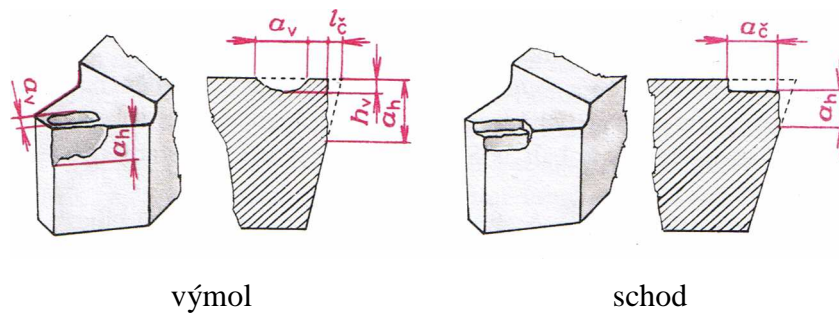
K otěru stykových ploch dochází buď to jen jednotlivým působením, nebo současným působením abraze, adheze a difúze.

Plastická deformace břitu – probíhá při obrábění měkkých materiálů jako je například (dřevo, plast, atd.). Díky malé tepelné vodivosti obráběného materiálu se teplo hromadí v nástroji, toto teplo s tlakem vyvolává plastický stav povrchových vrstev břitu. K opotřebení břitu řezného nástroje dochází plynulým přemísťováním plasticky deformované vrstvy materiálu. Také může nastat tzv. lavinovitý otěr. Ten vzniká pouze na hřbetu nástroje a je to extrémní forma plastického otěru.

Křehké lomy – nejčastěji se objevují u slinutých karbidů nebo keramických materiálů při přerušovaném řezem, nebo při náhlém zvýšení řezného odporu, ke kterému dochází např. nekvalitním materiálem. Také neopatrným ostřením nástroje vznikají podmínky pro výše uvedený křehký lom. [1, 5, 7]

8.2 Vnější formy opotřebení břitu nástroje

Opotřebení břitu řezného nástroje se nejčastěji projevuje tvořením jamek (výmolů) na čele a nerovnoměrnou ploškou vznikající na hřbetě, nebo případně tvořením schodů.



Obr.24. druhy otupení [5]

Co se týče nákladů na ostření je nutné sledovat otupení čele řezného nástroje při hrubování, kdy je k otupení nůž nejvíce náchylný.

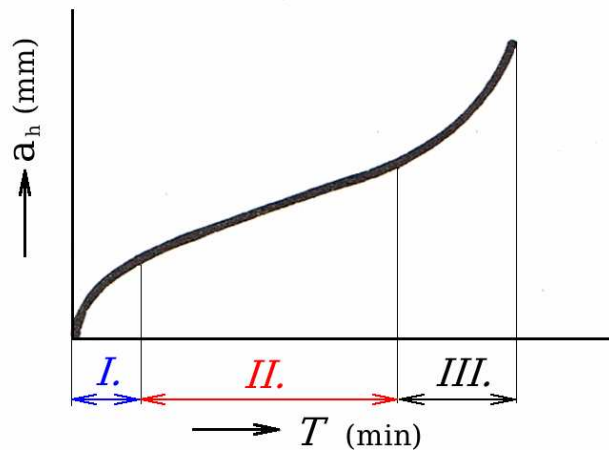
Stav otupení čela se sleduje podle šířky a hloubky výmolu. Co se týče hřbetu řezného nástroje, jeho otupení má velký vliv na přesnost obrobku při konečném obrábění.

Velikost opotřebení se pozoruje na rozměrech, které jsou znázorněny na obrázku 24.

Jak je zřejmé opotřebení probíhá jak na čele tak i na hřbetě současně. V praxi se otupení posuzuje pouze podle jediné veličiny. [1, 5]

8.3 Otupení na hřbetě

Otupení na hřbetě probíhá ve třech úsecích, viz graf 4. V prvním úseku probíhá otupení vlivem vysokých tlaků a nerovnosti ostří velmi rychle. Po tom co dojde k vyhlazení ostří a vyrovnání tlaků na průměrné hodnoty probíhá otupení dále, ale rovnoměrně (úsek II. Pracovní oblast). Po dovršení určité meze otupení, kdy pevnost a tvrdost bříty poklesne, se intenzita otupení neustále zvětšuje a končí lavinovitým otěrem (úsek III.). [1, 5]



Graf 4. Opotřebení na hřbetě

8.4 Trvanlivost břítu

Je to základní veličina, která určuje vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění. Je definována jako pracovní doba řezného nástroje od naostření až po jeho přípustné (snesitelné) otupení při konstantní řezné rychlosti (T je fce. v). Čím větší řezná rychlost, tím nižší trvanlivost. Trvanlivost břítu se značí velkým písmenem T a určuje se pro každou rychlost, (graf 5).

Dále se zavádí pojem optimální opotřebení. Je to takové opotřebení, kdy jsou náklady na ostření minimální. Pro optimální opotřebení se zjistí příslušné trvanlivosti T_1, T_2, T_3, \dots , které se s příslušnými řeznými rychlostmi vynesou do souřadnic, graf 6. Tato závislost se přibližuje závislosti hyperbolické a vyjadřuje se vztahem:

$$T = \frac{C_T}{v^m} \quad (19)$$

T trvanlivost (min).

C_T konstanta vyjadřující vliv ostatních řezných podmínek (je uvedena ve strojnických tabulkách).

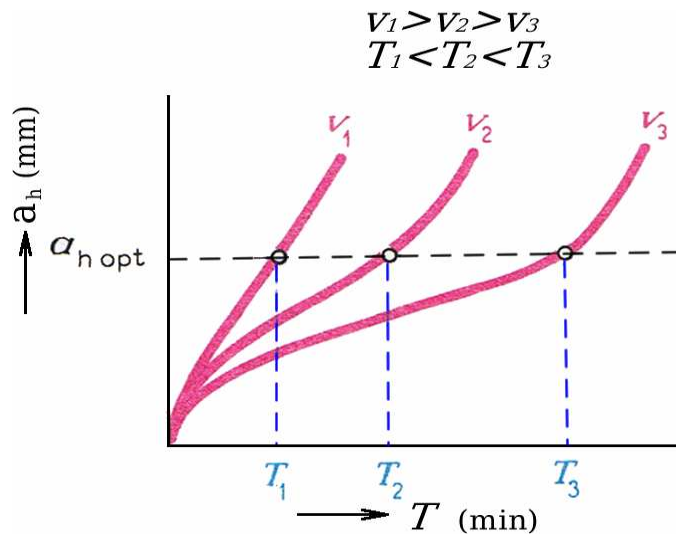
V řezná rychlost (m/min).

m konstanta závisící na druhu materiálu řezného nástroje. Její velikost se pohybuje od 1.5 do 11.

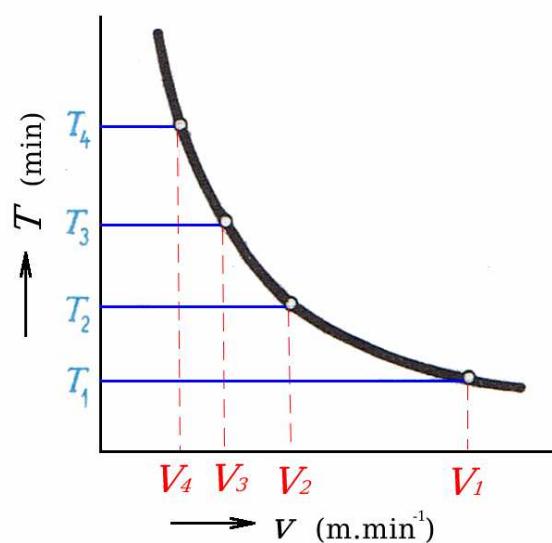
Známe-li hodnotu trvanlivosti T_1 , která odpovídá určité řezné rychlosti v_1 , může se pro stejné podmínky obrábění a novou řeznou rychlost v_2 určit neznámá trvanlivost T_2 ze vztahu:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^m \quad \dots\dots\dots T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^m \quad (20)$$

[1, 5, 7]



Graf 5. Trvanlivost ostří [5]



Graf 6. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [5]

8.5 Produktivita obrábění

Produktivita je hodnocení obrábění počtem výrobků za jednotku času nebo délkou času potřebnou k vyrobení jednoho obrobku. Základem hospodárného obrábění je vyrábět s co nižšími celkovými náklady. Celkové náklady jsou součtem jednotlivých nákladů. Celkové náklady na obrábění rozdělujeme do třech základních položek: jsou to náklady na stroj, nástroj a náklady vedlejší.

N_s Náklady na stroj [Kč]

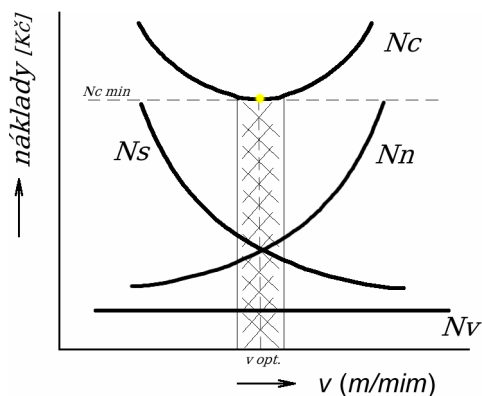
N_n Náklady na řezný nástroj [Kč]

N_v Náklady vedlejší (měření a výměna obrobku, náklady na přípravu i dokončení)

N_c Náklady celkové [Kč]

$$N_c = N_s + N_n + N_v \quad (21)$$

Na Grafu 7 je znázornění jednotlivých a celkových nákladů v závislosti trvanlivosti nástroje. Křivka N_c má minimum, která odpovídá optimální trvanlivosti řezného nástroje a zároveň minimálním celkovým nákladům.



Graf 7. Náklady

Náklady celkové (N_c) jsou nejvíce závislé na řezné rychlosti. Proto je graficky znázorněn průběh jednotlivých nákladů na řeznou rychlost v závislé na řezné rychlosti. [1, 4, 5]

8.6 Volba optimálních řezných podmínek

Co se týče řezných podmínek je nutné vycházet z mnoha poznatků, jako je např. zkušenost. Každý druh operace vyžaduje jiné řezné podmínky. Tyto podmínky závisí na : hloubce řezu posuvu a řezné rychlosti. Optimální řezné podmínky lze určit několika způsoby:

1. výpočtem.
2. z tabulek.
3. štítků na stroji (tabulek).
4. pomocí kalkulačtorů. [5]

9 Technologický postup

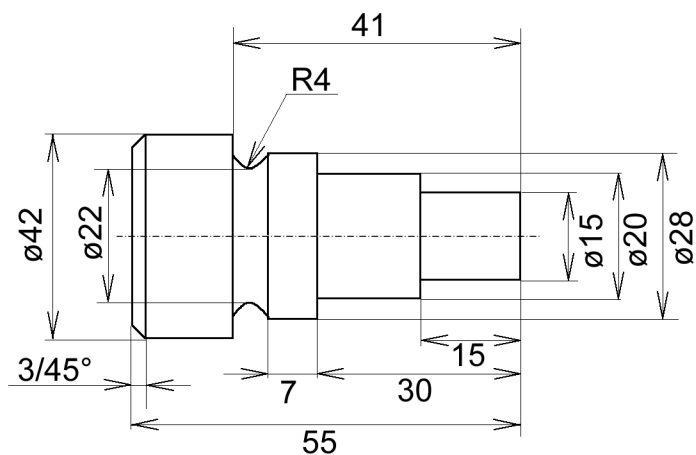
Tvorba technologického postupu je vysoce tvůrčí činnost. Před začátkem každé výroby nebo zavedením součásti do výrobního procesu je nutné sestavit tzv. technologický postup.

Technologický postup je nutný jak při kusové tak i hromadné výrobě. Při tvorbě technologického postupu dochází k ujasnění v jakém sledu budou následovat jednotlivé operace. Tím se dosáhne toho, aby po provedení jedné operace bylo možné pokračovat další operací bez komplikací a nenastal případ, že další operace je proveditelná pouze s obtížemi, nežádoucími následky (otlačení dokončených ploch), nebo je operace neproveditelná. Při tvorbě tech. postupu se využívají veškeré poznatky které jsou uvedeny v této práci a mnoha dalších. Postup by měl obsahovat:

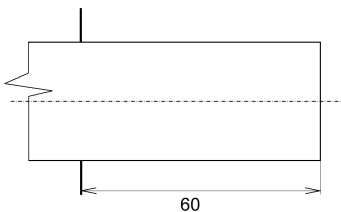

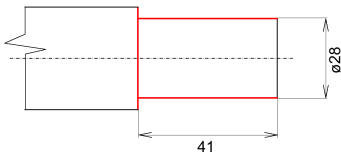
1. číslo operace
2. popis operace
3. vyobrazení
4. výrobní pomůcky pro danou operaci
5. pracovní podmínky (otáčky posuv, případně i čas operace)
6. měřidla
7. počet kusů

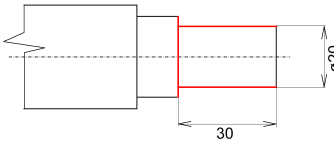
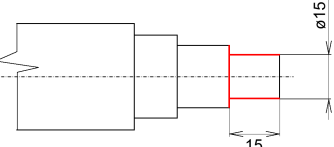
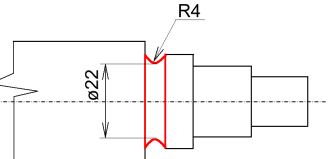
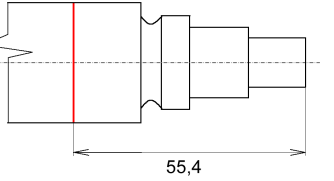
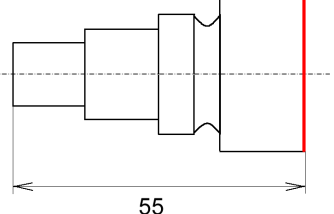
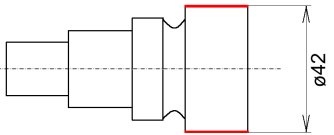
Na následující straně je ukázkový technologický postup jednoduché součásti.

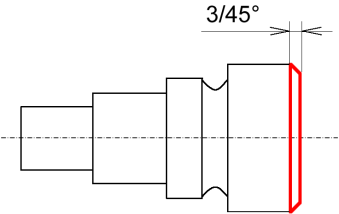
Výrobní postup součásti



Použit polotovar: hřídel $\varnothing 48$ v minimální délce 90mm

Č. operace	popis práce	vyobrazení	výrobní pomůcky	pracovní podmínky	
				v	n
1	vysunout kleštinu na doraz a upnout v délce 60mm		kleština $\varnothing 48$		
2	zarovnat čelo		nůž: pravý uběrací ČSN 23 3712	47,5	360
3	soustružit $\varnothing 28$ v délce 41mm		nůž: pravý hladicí ČSN 22 3722	47,5	540

4	soustružit $\varnothing 20$ v délce 30mm		nůž: pravý hladící ČSN 22 3722	47,5	750
5	soustružit $\varnothing 15$ v délce 15mm		nůž: pravý hladící ČSN 22 3722	47,5	1000
6	soustružit R4 na $\varnothing 22$			47,5	750
7	upíchnout na délku 55,4mm		nůž: pravý hladící ČSN 22 3722	47,5	360
8	otočit a upnout za $\varnothing 20$, zarovnat čelo na délku 55mm		nůž: pravý uběrací ČSN 23 3712 kleština $\varnothing 20$	47,5	360
9	soustružit $\varnothing 20$ v délce 14 mm		nůž: pravý hladící ČSN 22 3722	47,5	360

10	srazit hranu 3x45°		nůž: pravý uběrací ČSN 23 3712	47,5	360
11	konečná kontrola rozměrů, množství a vzhledu				
12	celé konzervovat		konzervační tuk		

10 Závěr

Účelem předložené práce bylo detailní seznámení se s aktuální odbornou literaturou z oblasti teorie obrábění kovů a vyhledání dalších aktuálních zdrojů informací. V literatuře jsem se zaměřil především na základní pojmy, názvosloví, jednotky, a obráběcí metody užívané v třískovém obrábění.

V úvodu jsem provedl souhrn z těchto rešerší a systematicky utřídil obecné poznatky týkající se teorie třískového obrábění z doporučené literatury. Dále jsem provedl výběr nejfrekventovanějších druhů obrábění vhodných pro použití ve výuce v podmínkách pedagogické fakulty s přihlédnutím k provozním podmínkám dílny strojního obrábění a jejímu vybavení. Bylo nutno zvážit i šíři a hloubku jednotlivých oblastí strojního obrábění a upravit je tak, aby odpovídaly potřebám technických praktik prováděných na pedagogické fakultě.

V rámci práce byl vypracován přehledný a srozumitelný text, který je dobře použitelný jako pomocný učební text pro předmět technická praktika – strojní obrábění kovů. Práce v sobě zahrnuje i některé nejnovější normy v návaznosti na mezinárodní normu ISO a Evropskou normu EN

Vlastní jádro práce tvoří metodická část, která srozumitelně a přehledně vysvětluje oblast teorie třískového obrábění tak, aby byla dobře použitelná pro výuku daného téma na pedagogické fakultě.

Předpokládám, že uvedený text bude možno, po menších úpravách, umístit na vzdělávací portál eAMOS a tak práce plně dovrší účel vyplývající ze zadání této práce.

Zpracování tak rozsáhlého téma jsem prováděl zatím poprvé a obohatilo mne nejen po odborné stránce, ale získal jsem i zkušenosti se zpracováním rozsáhlejších souborných prací.

11 Seznam použitých zdrojů

Literatura:

- [1] SCHMIDT, E. a kol. *Příručka řezných nástrojů*. Praha, SNTL 2001

- [2] GAZDA, J. *Teorie obrábění – Průvodce tvorbou třísky*. Technická univerzita v Liberci: Vysokoškolský podnik,s.r.o., 2004. ISBN 80-7083-789-6

- [3] VÁVRA, M. *Strojírenské tabulky*. Praha, Albra - Pedagogické nakladatelství SNTL 2002

- [4] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. SNTL Praha 2000

- [5] Hluchý, M. a kol. *Strojírenská technologie*. První vydání., SNTL Praha 1979

- [6] BOTHE, O. *Strojírenská technologie II - pro strojírenské učební obory*. ISBN 80 - 8592 - 058 - 1

- [7] FOREJT, M. – PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. CERM 2006, ISBN 80 - 214 - 2374 – 9

- [8] VÁVRA, J. – LEINVEBER, J. *Strojírenské tabulky*, ALBRA 2006, ISBN 80-7361-033-7

- [9] ŘASA, J. – ŠVERCL, J. *Strojírenské tabulky 2, pro školu a praxi*. Praha, SCIENTIA, spol.s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86960-20-3

Internet:

- [10] Čep, Robert. *Disertační práce 2007:*
http://home.vsb.cz/robert.cep/PDF/disertacni_prace.pdf

12 Přílohy

Příloha č. 1 – Slinuté karbidy a oblasti jejich použití

Příloha č. 2 – Soustružnické nože s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů

Příloha č. 3 – Značení vyměnitelných břitových destiček podle ISO

Příloha č. 4 – Držák soustružnického nože (graf)

Příloha č.5 – Řezné podmínky pro soustružení nástroji s vyměnitelnými břitovými destičkami

Příloha č.1

Slituté karbidy a oblasti jejich použití

Druh (dle ISO)	Materiál obrobku	Doporučené použití
<i>Nepovlakované SK</i>		
M20 a M30	Vysokoteplotní slitiny.	Nízké až střední řezné rychlosti.
K20 a K30	Litiny: šedá nad 220 HB, temperovaná. Slitiny: hliníku legované křemíkem, mědi, vysokoteplotní. Plasty (včetně bakelitu), kámen, dřevo.	Polohrubování. Velká odolnost proti opotřebení, nízká řezná rychlost, střední posuv, přerušovaný řez.
K10 a K20	Jako K20 a K30 + korozivzdorné oceli.	Střední soustružení, dokončování. Velká odolnost proti opotřebení, střední řezná rychlost, střední posuv.
K30 a K40 M30 a M40	Oceli: austenitické korozivzdorné, legované, rychlořezné. Vysokoteplotní slitiny.	Hrubování. Nízká řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez.
P20 a P30	Oceli: konstrukční, korozivzdorné, automatové, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Hrubování. Vysoký posuv, přerušovaný řez.
P30 až P45	Oceli: austenitické, korozivzdorné, ocelové odlitky s dutinami a korozivzdorné ocelové odlitky.	Hrubování. Vysoký posuv, přerušovaný řez.
P15 až P25	Oceli: konstrukční, rychlořezné, martenzitické korozivzdorné, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Hrubování. Střední řezná rychlost, střední posuv, malá plastická deformace.
<i>SK s povlakem CVD</i>		
K10 až K25	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, korozivzdorné. Šedá litina.	Hrubování, polohrubování. Střední řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez.
K05 až K20	Litiny: šedá, legovaná, měkká temperovaná, tvrzená temperovaná, měkká tvárná, tvrzená tvárná.	Dokončování. Velká odolnost proti opotřebení, vysoká řezná rychlost, střední posuv, malá plastická deformace.
P10 až P35	Oceli: konstrukční, legované, korozivzdorné, ocelové odlitky.	Polohrubování. Střední řezná rychlost, střední posuv.
P15 až P35 K10 až K30	Oceli: konstrukční, rychlořezné, martenzitické korozivzdorné, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Dokončování, střední soustružení. Velká odolnost proti opotřebení, vysoká řezná rychlost, střední posuv.
P20 až P40 K20 až K40	Korozivzdorná ocel. Litiny: šedá, tvárná.	Velká odolnost proti opotřebení, přerušovaný řez.
P30 až P50	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, korozivzdorné.	Vhodné pro nepříznivé pracovní podmínky. Nízká řezná rychlost, vysoký posuv.
P20 až P40	Oceli: konstrukční uhlíkové, nástrojové, legované, austenitické, martenzitické korozivzdorné, automatové, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Polohrubování, střední soustružení. Střední řezná rychlost, vysoký a střední posuv, přerušovaný řez.

Pokračování

Druh (dle ISO)	Materiál obrobku	Doporučené použití
P10 až P35 M20 až M40	Oceli: legované, korozivzdorné, ocelové odlitky.	Polohrubování, střední soustružení. Střední řezná rychlost, střední posuv.
P05 až P30 K05 až K20	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, nástrojové, korozivzdorné, ocelové odlitky. Šedá litina.	Dokončování, střední soustružení. Velká odolnost proti opotřebení, vysoká řezná rychlost, střední posuv.
P10 až P30 K10 až K25	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované. Šedá litina.	Dokončování. Střední až vysoká řezná rychlost, zvýšená odolnost proti opotřebení.
P20 až P30 M15 až M30	Oceli: konstrukční široký rozsah, včetně korozivzdorných. Speciálně pro hrubování oceli s vyšším obsahem uhlíku a vysoce legovaných ocelí.	Hrubování a střední soustružení. Střední řezná rychlost, velká houževnatost, vhodné pro nestabilní řezné podmínky.
<i>SK s povlakem PVD</i>		
P10 až P30 M20 až M30 K20 až K30	Oceli: tvrdé legované, korozivzdorné.	Pro všechny materiály, výhradně pro monolitní vrtáky.
P10 až P25 K10 až K20	Oceli: konstrukční a na odlitky, korozivzdorné. Šedá litina.	Dokončování. Velká odolnost proti opotřebení, malý posuv, malá plastická deformace.
P30 až P50 K25 až K40	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, austenitické korozivzdorné, ocelové odlitky. Slitiny: hliníku, mědi, speciální.	Hrubování, polohrubování. Nízká řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez, velká odolnost proti mechanickým a tepelným rázům.
P15 až P35	Oceli: na odlitky, korozivzdorné, automatové, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Hrubování. Střední řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez.
P10 až P30 M20 až M30 K20 až K30	Oceli: konstrukční tvrdá legovaná, korozivzdorné.	Pro všechny materiály, výhradně pro monolitní stopkové frézy.
P15 až P30 M20 až M30 K20 až K30	Slitiny: žáruvzdorné, tvrdé. Oceli: konstrukční uhlíkové, korozivzdorné.	Dělení a zapichování.
P25 až P45 K20 až K40	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, austenitické korozivzdorné, na odlitky. Slitiny: hliníku, mědi, speciální.	Hrubování, polohrubování. Nízká řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez, velká odolnost proti mechanickým a tepelným rázům.
P25 až P45	Oceli: austenitické korozivzdorné, ocelové odlitky s dutinami.	Polohrubování. Střední řezná rychlost, vysoký posuv, přerušovaný řez.
P10 až P25 M05 až M20 K05 až K20	Oceli: konstrukční uhlíkové, austenitické korozivzdorné. Slitiny: žáruvzdorné, tvrdé.	Střední obrábění, dokončování. Nízká až střední řezná rychlost, velká houževnatost pro přerušovaný řez, výborná vrubová houževnatost a zvýšená odolnost ostří.

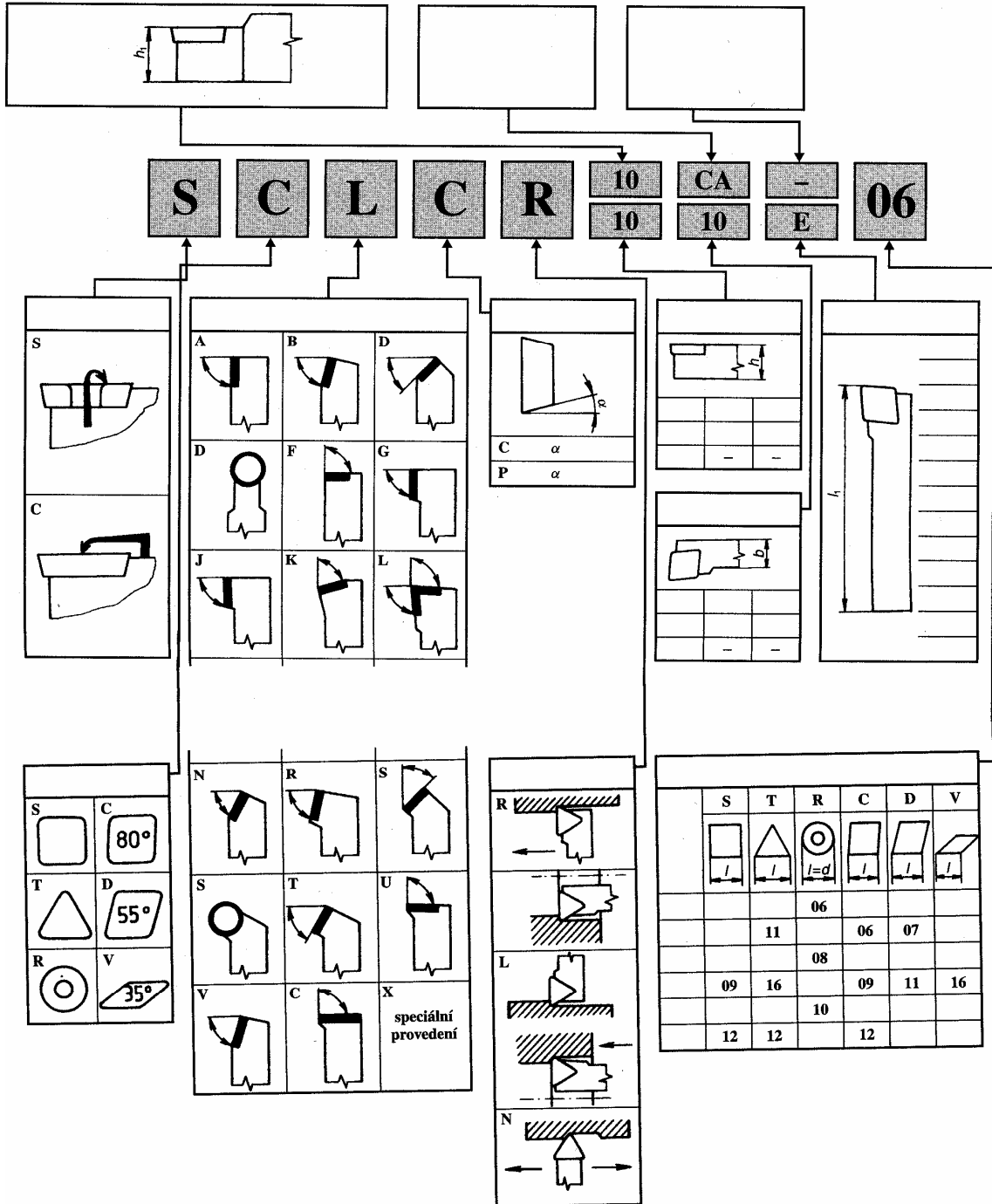
Pokračování

Druh (dle ISO)	Materiál obrobku	Doporučené použití
P20 až P40 M20 až M30 K20 až K30	Slitiny: žáruvzdorné, tvrdé. Konstrukční uhlíková ocel.	Střední obrábění. Nízká až střední řezná rychlost, velká houževnatost pro přerušovaný řez.
P25 až P40 M15 až M35	Oceli: konstrukční, korozivzdorné, žáruvzdorné. Litiny – široký rozsah.	Hrubování, střední obrábění. Nízká řezná rychlost, výborná houževnatost pro přerušovaný řez.
P10 až P25 M05 až M20 K05 až K20	Oceli: konstrukční, rychlořezné, martenzitické korozivzdorné, ocelové odlitky. Temperovaná litina.	Střední obrábění. Střední řezná rychlost, střední posuv, malá plastická deformace.
P15 až P30 M20 až M30 K20 až K30	Oceli: tvrdá legovaná, žáruvzdorné, slitinové.	Pro všechny materiály. Výhradně pro monolitní stopkové frézy. Přednostně pro dokončování.
K05 až K25	Litiny: šedá nad 220 HB, temperovaná. Slitiny: hliníku legované křemíkem, mědi, vysokoteplotní. Plasty (včetně bakelitu), kámen, dřevo.	Polohrubování. Velká odolnost proti opotřebení, nízká řezná rychlost, střední posuv, přerušovaný řez.
P15 až P35 K10 až K30	Oceli: konstrukční nízkouhlíkové, uhlíkové, slitinové.	Střední obrábění, dokončování. Vysoká řezná rychlost, velká odolnost proti opotřebení a proti teplotním rázům.
P25 až P45 K20 až K40 M15 až M35	Oceli: korozivzdorné. Slitiny s vysokou tepelnou odolností.	Pro těžké použití. Nízká až střední řezná rychlost, výborné pro přerušovaný řez v konstrukční a korozivzdorné oceli.
<i>Cermety</i>		
P05 až P25	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, na odlitky. Speciální slitiny. Šedá litina.	Dokončování. Velká odolnost proti opotřebení, střední řezná rychlost, malý posuv, malá plastická deformace.
P10 až P30	Oceli: konstrukční uhlíkové, legované, automatové, nástrojové, na odlitky, austenitické a martenzitické korozivzdorné. Temperovaná litina.	Střední soustružení, dokončování. Střední řezná rychlost, střední posuv, přerušovaný řez.

Příloha č. 2

SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE S VYMĚNITELNÝMI BŘITOVÝMI DESTIČKAMI ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

Označení držáků podle ISO



Příloha č. 3

Značení vyměnitelných břitových destiček dle ISO

1	2	3	4	5	6	7
C	N	M	G	12	04	08

8	9	12
		PF

8	10	11
T	010	20

1	Tvar břitové destičky	
80°	C	D
55°	K	R
	S	T
35°	V	W

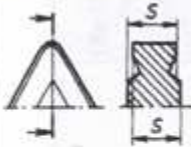

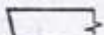




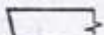




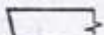





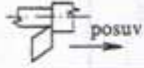
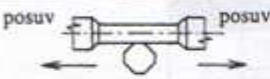

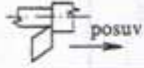
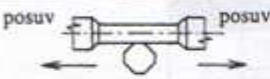
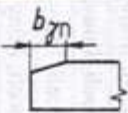
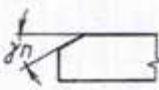

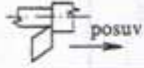
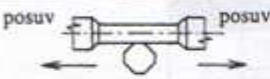
2	Úhel hřbetu břitové destičky	
5°	B	C
20°	E	N
11°	P	O Zvláštní provedení

3	Tolerance rozměrů s a iC/iW		
Třída	s	iC/iW	
G		$\pm 0,025$	
M	$\pm 0,13$	$\pm 0,05$ až $\pm 0,15^{1)}$	
U		$\pm 0,08$ až $\pm 0,25^{1)}$	
¹⁾ Mění se podle velikosti iC . Viz dále.			
Vepsaná kružnice	Třída tolerance		
iC (mm)	M	U	
3,97			
5,0			
5,56			
6,0	$\pm 0,05$	$\pm 0,08$	
6,35			
8,0			
9,525			
10,0			
12,0	$\pm 0,08$	$\pm 0,13$	
12,7			
15,875			
16,0	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$	
19,05			
20,0			
25,0	$\pm 0,13$	$\pm 0,25$	
25,4			
31,75	$\pm 0,15$	$\pm 0,25$	
32,0			

5		Velikost břitové destičky – délka ostří l (mm)								
		C	D	R	S	T	V	W	K	
iC (mm)	iC (palec)									
3,97	5/32			05		06				
5,0						09				
5,56	7/32									
6,0			06							
6,35	1/4	06	07			11	11			
8,0				08						
9,0				09						
9,525	3/8	09	11	09	09	16	16	06	16*	
10,0				10						
12,0				12						
12,7	1/2	12	15	12	12	22	22	08		
15,875	5/8	16		15	15	27				
16,0				16						
19,05	3/4	19		19	19	33				
20,0				20						
25,0				25						
25,4	1	25		25	25					
31,75				31						
32				32						

*) Pro tvar břitové destičky K (KNMX, KNUX) je uvedena pouze teoretická délka ostří.

4	Typ břitové destičky	
A		Q
G		R
M		T
N		W
X	Zvláštní konstrukční provedení	

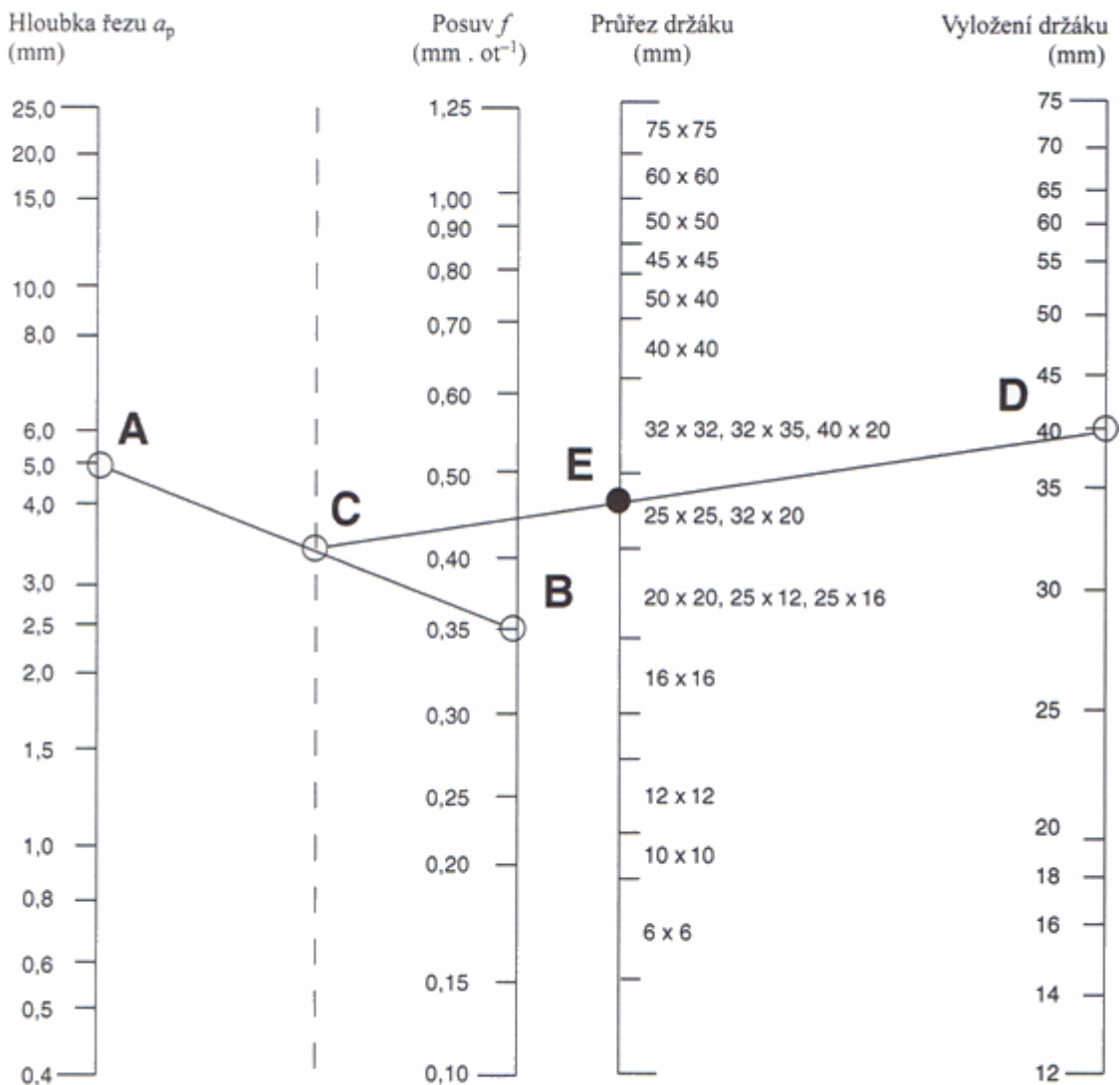
<p>6 Tloušťka břitové destičky s (mm)</p>  <table border="0"> <tr><td>01</td><td>$s = 1,59$</td></tr> <tr><td>T1</td><td>$s = 1,98$</td></tr> <tr><td>02</td><td>$s = 2,38$</td></tr> <tr><td>03</td><td>$s = 3,18$</td></tr> <tr><td>T3</td><td>$s = 3,97$</td></tr> <tr><td>04</td><td>$s = 4,76$</td></tr> <tr><td>05</td><td>$s = 5,56$</td></tr> <tr><td>06</td><td>$s = 6,35$</td></tr> <tr><td>07</td><td>$s = 7,94$</td></tr> <tr><td>09</td><td>$s = 9,52$</td></tr> <tr><td>10</td><td>$s = 10,00$</td></tr> <tr><td>12</td><td>$s = 12,00$</td></tr> </table>	01	$s = 1,59$	T1	$s = 1,98$	02	$s = 2,38$	03	$s = 3,18$	T3	$s = 3,97$	04	$s = 4,76$	05	$s = 5,56$	06	$s = 6,35$	07	$s = 7,94$	09	$s = 9,52$	10	$s = 10,00$	12	$s = 12,00$	<p>7 Poloměr špičky r_e (mm)</p>  <table border="0"> <tr><td>00</td><td>$r_e =$ kruhové břitové destičky</td></tr> <tr><td>04</td><td>$r_e = 0,4$</td></tr> <tr><td>08</td><td>$r_e = 0,8$</td></tr> <tr><td>12</td><td>$r_e = 1,2$</td></tr> <tr><td>16</td><td>$r_e = 1,6$</td></tr> <tr><td>24</td><td>$r_e = 2,4$</td></tr> </table>	00	$r_e =$ kruhové břitové destičky	04	$r_e = 0,4$	08	$r_e = 0,8$	12	$r_e = 1,2$	16	$r_e = 1,6$	24	$r_e = 2,4$	<p>8 Provedení břitu</p> <table border="0"> <tr><td>F</td><td></td><td>Ostrý břit</td></tr> <tr><td>E</td><td></td><td>Rektifikované ostří</td></tr> <tr><td>T</td><td></td><td>Břit s fazetkou</td></tr> <tr><td>K</td><td></td><td>Břit s dvojitou fazetkou</td></tr> <tr><td>S</td><td></td><td>Rektifikované ostří s fazetkou</td></tr> </table>	F		Ostrý břit	E		Rektifikované ostří	T		Břit s fazetkou	K		Břit s dvojitou fazetkou	S		Rektifikované ostří s fazetkou
01	$s = 1,59$																																																				
T1	$s = 1,98$																																																				
02	$s = 2,38$																																																				
03	$s = 3,18$																																																				
T3	$s = 3,97$																																																				
04	$s = 4,76$																																																				
05	$s = 5,56$																																																				
06	$s = 6,35$																																																				
07	$s = 7,94$																																																				
09	$s = 9,52$																																																				
10	$s = 10,00$																																																				
12	$s = 12,00$																																																				
00	$r_e =$ kruhové břitové destičky																																																				
04	$r_e = 0,4$																																																				
08	$r_e = 0,8$																																																				
12	$r_e = 1,2$																																																				
16	$r_e = 1,6$																																																				
24	$r_e = 2,4$																																																				
F		Ostrý břit																																																			
E		Rektifikované ostří																																																			
T		Břit s fazetkou																																																			
K		Břit s dvojitou fazetkou																																																			
S		Rektifikované ostří s fazetkou																																																			
<p>9 Provedení nástroje Směr posuvu</p> <table border="0"> <tr><td>R</td><td></td></tr> <tr><td>L</td><td></td></tr> <tr><td>N</td><td></td></tr> </table>	R		L		N		<p>10 Šířka fazetky (mm)</p>  <table border="0"> <tr><td>010</td><td>$b_{gn} = 0,10$</td></tr> <tr><td>025</td><td>$b_{gn} = 0,25$</td></tr> <tr><td>070</td><td>$b_{gn} = 0,70$</td></tr> <tr><td>150</td><td>$b_{gn} = 1,50$</td></tr> <tr><td>200</td><td>$b_{gn} = 2,00$</td></tr> </table>	010	$b_{gn} = 0,10$	025	$b_{gn} = 0,25$	070	$b_{gn} = 0,70$	150	$b_{gn} = 1,50$	200	$b_{gn} = 2,00$	<p>11 Úhel fazetky</p>  <table border="0"> <tr><td>15</td><td>$\gamma_n = 15^\circ$</td></tr> <tr><td>20</td><td>$\gamma_n = 20^\circ$</td></tr> </table>	15	$\gamma_n = 15^\circ$	20	$\gamma_n = 20^\circ$																															
R																																																					
L																																																					
N																																																					
010	$b_{gn} = 0,10$																																																				
025	$b_{gn} = 0,25$																																																				
070	$b_{gn} = 0,70$																																																				
150	$b_{gn} = 1,50$																																																				
200	$b_{gn} = 2,00$																																																				
15	$\gamma_n = 15^\circ$																																																				
20	$\gamma_n = 20^\circ$																																																				
<p>12 Možnost volby výrobce</p> <p>Kód ISO se skládá z devíti symbolů včetně 8 a 9, které se používají pouze v případě potřeby. Kromě toho výrobce může připojit další dva symboly, např. PF = ISO P dokončování, PR = ISO P hrubování.</p>																																																					

Příloha č- 4

Držák soustružnického nože

Volba průřezu držáku nože pomocí nomogramu

Volba průřezu držáku nože je většinou dána možnostmi obráběcího stroje. Optimální je volba průřezu držáku s ohledem na použité řezné podmínky (posuv f a hloubku řezu a_p) a vyložení držáku nástroje z upínače pomocí nomogramu.



Postup stanovení průřezu držáku nože z nomogramu:

1. Spojíme body A , B , odpovídající použité hloubce řezu a posuvu (nebo vyznačíme jejich nejvyšší hodnotu), vyznačíme bod D (dané vyložení držáku z upínače);
2. bod C je průsečíkem středové přímky a spojnice AB ;
3. průsečík spojnice CD se stupnicí Průřez držáku je hledaný bod E (lze odečíst jeho hodnotu).

Příloha č. 5

Řezné podmínky pro soustružení nástroji s vyměnitelnými břitovými destičkami

Postup při volbě řezných podmínek:

1. Stanovení skupiny obráběného materiálu (tab.)

Rozdělení obráběných materiálů do skupin dle ČSN ISO 513.

Označení skupiny		Materiál obrobku
nové	staré	
P	P _I	Oceli: uhlíkové (nelegované) třídy 10, 11, 12 nízko a středně legované skupiny 13 (13 0., 13 1., ...) legované třídy 14, 15, 16 feritické a martenzitické korozivzdorné (třídy 17 a lité 42 29.) nástrojové uhlíkové (19 1., 19 2., 19 3.) legované nástrojové (19 3. až 19 8.)
	P _{II}	Ocelolitiny: uhlíková skupiny 26 (42 26.) nízko a středně legované skupiny 27 (42 27.)
M	M _I	Oceli: austenitické a feritickoaustenitické korozivzdorné; žárovzdorné a žárovevné nemagnetické a otěruvzdorné
K	K _I	Litiny: šedé nelegované i legované (42 24.) tvárné (42 23.) temperované (42 25.)
N	K _{II}	Neželezné kovy, slitiny hliníku a mědi
S	M _{II}	Speciální žárovevné slitiny na bázi niklu, kobaltu, železa a titanu
H	M _{III}	Oceli: zušlechtěné s $R_m > 1\,500$ MPa kalené HRC 48 až 60 Litiny tvrzené kokilové HSh 55 až 85