



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ PARAMETRY ŘEZNÉHO NÁSTROJE

TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL PARAMETERS OF A CUTTING TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DAVID DRDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Drda David, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje

v anglickém jazyce:

Technological and economical parameters of a cutting tool

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Specifikace parametrů řezného nástroje
2. Opotřebení břitu řezného nástroje
3. Metodika kvantifikace parametrů řezného nástroje
4. Analýza dosahovaných technologických a ekonomických parametrů řezného nástroje

Cíle diplomové práce:

Analýza technologických a ekonomických parametrů řezného nástroje ve vzájemných souvislostech.

Seznam odborné literatury:


1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
2. BEŇO, J. Teória rezania kovov. Prvé vydanie. Košice. Strojnícka fakulta TU košice, 1999. 255 s. ISBN 80-7099-429-0.
3. FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
5. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
6. KRÍŽ, R. a VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
7. VASILKO, K. Analytická teória trieskového obrabania. Prvé vydanie. Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

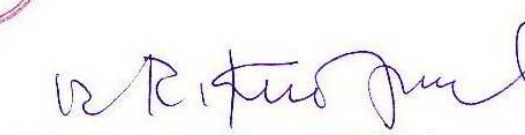
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 18.11.2008





doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. David Drda

Bytem: Družstevní 1418, 53901 Hlinsko v Čechách

Narozen/a (datum a místo): 11.05.1985, Chrudim

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje
Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.
Ústav: Ústav strojírenské technologie
Datum obhajoby VŠKP: Červen 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů2.....
- elektronické formě – počet exemplářů1.....

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

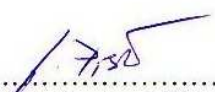
Článek 2 Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 22. 4. 2009


.....
doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.


.....
Autor

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je analyzovat technologické a ekonomické parametry řezného nástroje. Postupně jsou specifikovány parametry řezného nástroje, opotřebenění břítu, ekonomické parametry a náklady na provoz nástroje. Na závěr se analyzují dosahované technologické a ekonomické parametry řezného nástroje na praktickém příkladu. Příklad je součástí přílohy v podobě programu na výpočet v Excelu, společně s vyhodnocením pomocí grafů.

Klíčová slova

Řezný nástroj, opotřebenění nástroje, trvanlivost břítu, produktivita, náklady, úspory.

ABSTRACT

Aim master's thesis is analyzed technological and economical parameters of cutting tool. Firstly there are the parameters cutting tool, cutting wear, economical parameters and costs on running tools specified. In the conclusion there are reach technological and economical parameters of cutting tools analyzed and tested on practical sample. The sample is part of attachments in form programme on calculation in Excel, together with evaluation by means of graphs.

Key words

Cutting tool, tool wear, cutting life, production rate, charges, saving.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. DRDA, David. *Název: Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009., 59s., 1 příloha, doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 25.5.2009

.....
Bc. David Drda

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji tímto doc. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	8
1 SPECIFIKACE PARAMETRŮ ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	9
1.1 Obecná charakteristika nástroje	9
1.1.1 Soustružnické nástroje	10
1.1.2 Frézovací nástroje.....	11
1.1.3 Vrtací nástroje.....	13
1.2 Geometrie nástroje	13
1.2.1 Geometrie soustružnického nástroje.....	15
1.2.2 Geometrie frézovacího nástroje.....	18
1.2.3 Geometrie vrtáku	19
2 OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	21
2.1 Technologická identifikace opotřebení	21
2.1.1 Opotřebení a jeho intenzita.....	21
2.1.2 Trvanlivost břitu nástroje.....	26
2.2 Strojní časy.....	28
2.2.1 Norma spotřeby času pro obráběcí operace.....	28
2.2.2 Výpočet jednotkového strojního času	29
2.2.3 Soustružení.....	29
2.2.4 Frézování.....	31
2.2.5 Vrtání	32
3 METODIKA KVANTIFIKACE PARAMETRŮ ŘEZNÉHO NÁSTROJE	33
3.1 Ekonomické parametry řezného nástroje	33
3.1.1 Ekonomická trvanlivost	35
3.1.2 Trvanlivost za maximální produktivity	36
3.1.3 Hodinová produktivita výroby	37
3.1.4 Návratnost investic	38
3.2 Náklady na provoz nástroje.....	39
3.2.1 Náklady na 1min provozu nástroje.....	39
3.2.2 Náklady na jedno nasazení nástroje.....	41
3.2.3 Náklady na 1cm ³ odebraného materiálu.....	41
3.3 Trendy a zhodnocení nákladů na provoz nástroje	42
3.3.1 Tool management.....	44
4 ANALÝZA DOSAH. TECHN. A EKON. PAR. ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	45
4.1 Zadání příkladu.....	45
4.2 Výpočet nejvhodnější varianty výroby	47
4.3 Výrobnost, spotřeba a náklady na pořízení nástroje.....	50
4.4 Náklady na provoz.....	51
Závěr	53
Seznam použitých zdrojů	54
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	56
Seznam příloh	59

ÚVOD

V každém výrobním podniku se zabezpečuje řada činností, s cílem všestranného a úspěšného chodu podniku. Výrobu lze definovat jako tvorbu nových výrobků, které společnost potřebuje ke své existenci a pro svoji individuální potřebu. Finanční situace takového strojírenského podniku je samozřejmě závislá na tom, jak velké zisky z investic vzniknou. Investujeme-li do výroby nebo podniku, z finančního hlediska je nutno z této produkce dostat opět prostředky, ve formě peněz, které lze dále proinvestovat. Investici lze provést jen v případě, že se dají očekávat uspokojivé zisky, úměrné velikosti této investice. Důležitou součástí ekonomiky podniku je sledování nákladů. Ty lze obecně vymezit jako peněžně vyjádřené vynaložení zdrojů ekonomického růstu, související s výrobou produktu, provedením práce nebo poskytnutím služeb. Hospodárnost výroby tedy znamená v první řadě dosažení co největšího užitku z daných výrobních možností.

Řezný nástroj, prostředek k přeměně polotovaru na výrobek, je tedy důležitou součástí každé výroby, provozu či podniku. Investice do jeho pořízení musí být vhodně uvážena, nenakoupit zbytečně drahý a nevyužívaný nástroj nebo na druhou stranu levný a snadno opotřebovatelný. Jak již bylo zmíněno, opotřebení a trvanlivost nástroje je to, co ovlivňuje volbu při nákupu. Dále je třeba vhodně zvolit nástroj podle geometrie, tvaru a způsobu upínání, délky trvanlivosti bříty, tedy strojní čas výroby jedné součásti.

Vše výše uvedené obsahuje tato práce. Přes technologické hledisko od volby metody obrábění a jejich stručný popis, geometrii nástrojů přes opotřebení a trvanlivost bříty nástroje po výpočty strojních časů pro jednotlivé metody. Ekonomické hledisko zohledňuje ekonomiku parametrů řezného nástroje, jako ekonomickou trvanlivost a trvanlivost za maximální produktivity. Dále nemohou být opomenuty náklady na provoz nástroje, jako náklady na jednu minutu provozu nástroje, jedno nasazení nástroje nebo na odebrání 1cm³ materiálu.

1 SPECIFIKACE PARAMETRŮ ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Velikost a význam obrábění vyplývá z jeho širokých možností využití, universálnosti a ze zvyšování výrobní přesnosti. Řezný nástroj je neodmyslitelnou součástí každého strojírenského podniku, umožňuje společně se strojem a s obrobkem vytvářet řezný proces. Pohled na nástroj z geometrického hlediska vyhodnocuje plochy, ostří a rozměry na nástroji. Je tedy třeba vhodně stanovit a rozdělit parametry řezného nástroje.

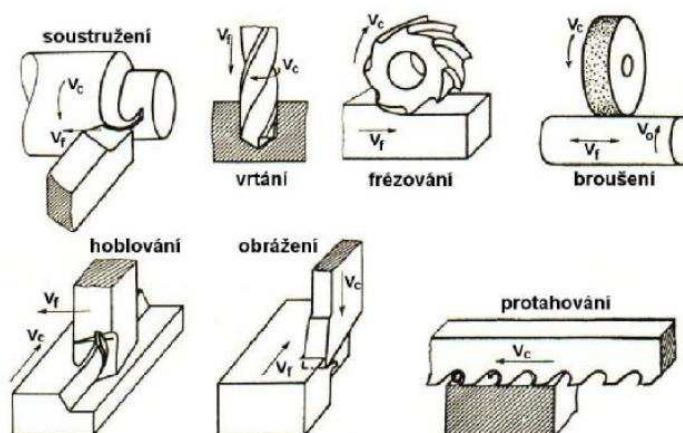
1.1 Obecná charakteristika nástroje

Výrobní proces se skládá z několika částí, jednou z nich je obrábění. Je to proces, při kterém je odebrán určitý objem materiálu, pomocí řezného nástroje. Následkem toho vznikne obrodek žádaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu. Hlavním úkolem všech metod obrábění je co možná nejehospodárněji dát obrobku všechny požadované vlastnosti.

Nástroje lze rozdělit do skupin, podle druhu obráběcího procesu, geometrie a podle doby potřebné k zvládnutí obráběcího procesu.

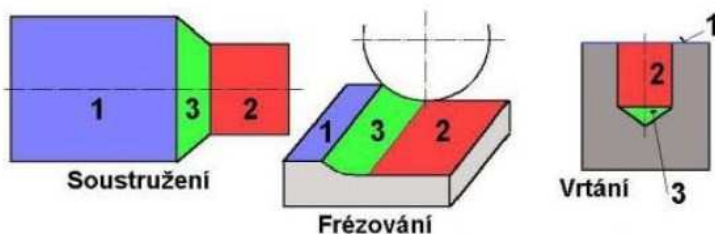
Základní metody obrábění na obrázku (obr. 1.1):

- soustružení
- frézování
- hoblování a obrážení
- protahování a protlačování
- vrtání a zahlubování
- vyvrtávání
- vyhrubování a vystružování
- broušení



Obr. 1.1 Hlavní a posuvný pohyb u vybraných metod obrábění [14]

Zaměříme se pouze na základní tři vybrané technologie. Soustružení, frézování, vrtání a zahlubování. Na obrázku (obr. 1.2) jsou uvedeny základní plochy při obrábění.

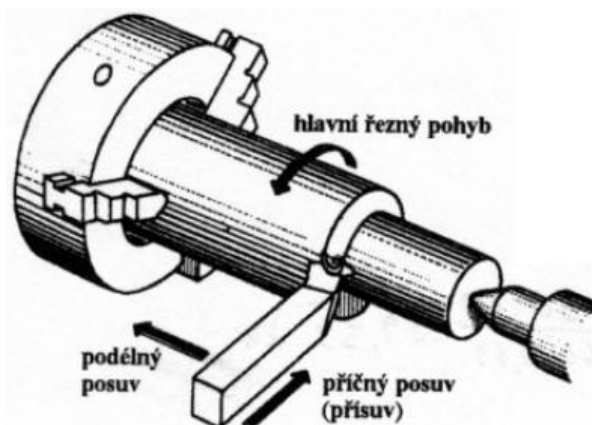


Obr. 1.2 Základní plochy na obrobku [14]

- (1) obráběná plocha
- (2) obrobená plocha
- (3) přechodová plocha

1.1.1 Soustružnické nástroje

Soustružení lze popsat jako jednu z nejpoužívanějších metod obrábění, představující 30 - 40% pracnosti strojního obrábění. Materiál je odebrán jednobřítým nástrojem, který se nazývá soustružnický nůž. Obráběcí proces je popsán na obrázku (obr. 1.3), kde hlavní řezný pohyb koná obrobek upnutý ve sklíčidle a osově zajištěn koníkem. Vedlejší řezný pohyb je konán posuvem a přísuvem soustružnického nože.



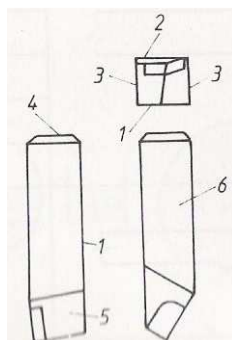
Obr. 1.3 Schéma soustružení [10]

Soustružnické nože lze rozdělit podle několika hledisek:

- a) podle materiálu nože: z nástrojové rychlořezné oceli, s břitovými destičkami ze slinutých karbidů, nože s diamantem
- b) podle stroje na kterém je aplikován: soustružnické, revolverové, automatové
- c) podle charakteru obrábění: hrubovací, hladící
- d) podle způsobu obrábění: ubírací, zapichovací a upichovací, vyvrtávací a tvarové

- e) podle tvaru tělesa nože: přímé, ohnuté, prohnuté a osazené
 f) podle polohy hlavního ostří: pravé, levé, přímé

Na obrázku (obr. 1.4) jsou popsány základní plochy na soustružnickém noži.

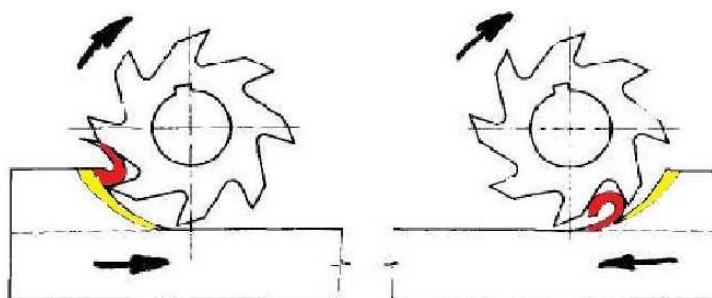


Obr. 1.4 Základní názvosloví soustružnického nože [4]

- (1) základna
- (2) upínací plocha
- (3) boční plocha
- (4) zadní plocha
- (5) pracovní část
- (6) držák

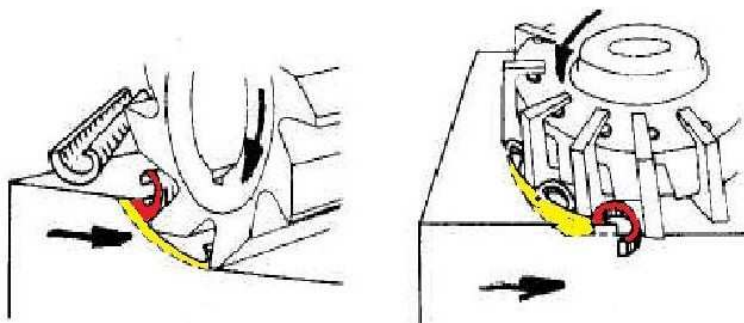
1.1.2 Frézovací nástroje

Frézování je třískový obráběcí proces, při kterém pomocí vícebřitvého frézovacího nástroje (fréza), dochází k relativnímu pohybu nástroje a obrobku, kdy nástroj koná hlavní rotační pohyb kolem své osy a odebírá materiál obrobku. Pohyb tedy probíhá ve třech osách standardně, ve více osách jej lze nalézt u více-osých obráběcích center.



Obr. 1.5 Sousedné a nesousedné frézování [12]

Frézování dělíme tedy na nesousedné a sousledné, to podle pohybu obrobku proti směru otáčení frézy nebo ve směru otáčení, uvedeno na obrázku (obr. 1.5). Dále na obvodové a čelní, (obr. 1.6).

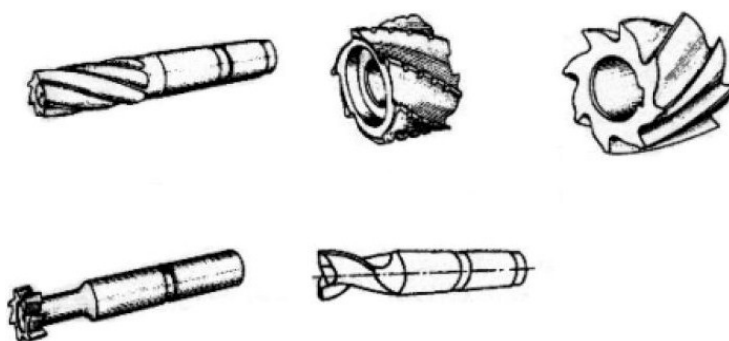


Obr. 1.6 Obvodové a čelní frézování [12]

Rozdělení fréz:

- a) podle funkce: k obrábění rovinných ploch (válcové, čelní válcové), k obrábění drážek (drážkovací, kotoučové), k obrábění tvarových ploch (tvarové úhlové, kuželové, radiusové, na ozubení a závity)
- b) podle provedení a tvaru zubů: frézované, podsoustružené, odfrézované
- c) podle počtu dílů: celistvé, svařované s vkládanými zuby, dělené
- d) podle způsobu upnutí: nástrčné (válcové, kuželové, tvarové, drážkovací), stopkové s válcovou nebo kuželovou stopkou
- e) podle smyslu otáčení: pravořezné, levořezné
- f) podle technologie výroby: odlévané, svařované, tvářené, broušené
- g) podle vzájemné polohy frézy a obrobku: obvodové (nesousledné a sousledné), čelní

Na obrázku (obr. 1.7) jsou popořadě znázorněny frézy, viz. legenda.

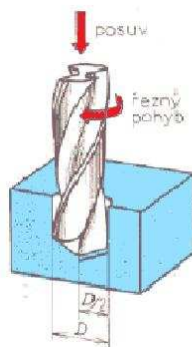


Obr. 1.7 Ukázky nástrojů [10]

- (a) čelní stopková fréza
- (b) čelní nástrčná fréza
- (c) válcová nástrčná fréza
- (d) fréza pro „T“ držáky
- (e) drážkovací fréza

1.1.3 Vrtací nástroje

Vrtání je technologie třískového obrábění, kdy se zhotovují vnitřní rotační plochy, průchozí nebo neprůchozí do plného materiálu, vícebřitým nástrojem. Vrták vykonává rotační hlavní řezný pohyb, vedlejší je přímočarý ve směru osy otáčení, vykonávaný taktéž nástrojem. Ukázka na obrázku (obr. 1.8).



Obr. 1.8 Schéma vrtání [10]

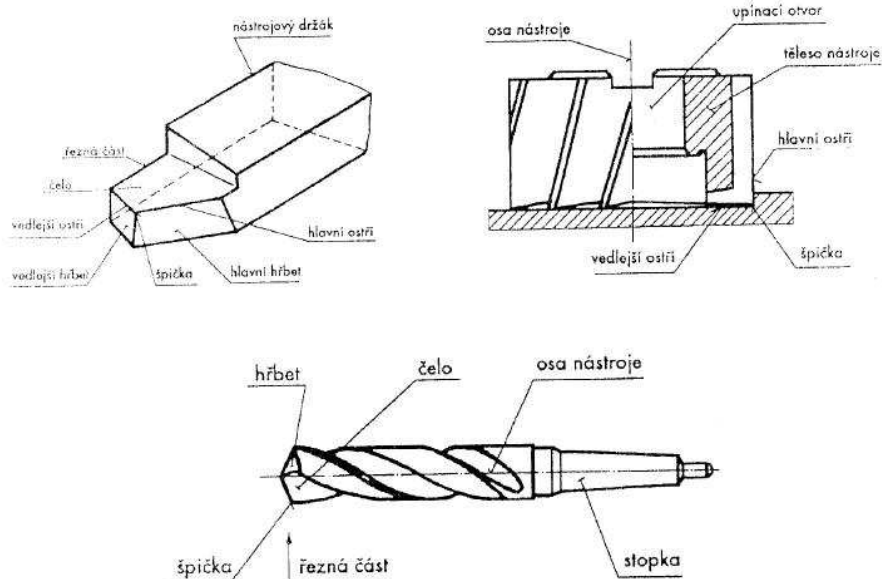
Druhy vrtacích nástrojů: šroubové, středící, dělové a vrtací hlavy

Rozdělení šroubových vrtáků:

- podle stopky: válcová, kuželová
- podle směru otáčení (pohled od stopky): pravořezný, levořezný
- podle délky: krátký, dlouhý
- podle úhlu stoupání šroubovice: velký (stoupání 45°), střední (stoupání 27°), malý (stoupání 12°)
- podle materiálu: nástrojové oceli (legované, nelegované)

1.2 Geometrie nástroje

Geometrie řezného nástroje značně ovlivňuje několik faktorů. Například velikost řezné síly a její rozložení do jednotlivých složek, tvorbu a odvod třísky, přesnost a kvalitu dokončené obrobené plochy, trvanlivost břitu a hospodárnost obráběcího procesu. Mají-li se minimalizovat veškeré tyto ztráty, je při konstrukci nástroje a jeho ostření nezbytná dokonalá znalost geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění. Nástrojové i geometrické parametry jsou definovány pomocí úhlů, nacházejících se v příslušných rovinách. Pro jednoznačné určení řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy rovin a to nástrojová a pracovní. Na obrázku (obr. 1.9) jsou uvedeny vybrané obráběcí nástroje podle technologie a stručný popis jednotlivých ploch.



Obr. 1.9 Obráběcí nástroje a popis jednotlivých ploch [15]
 (a) soustružnický nůž
 (b) čelní válcová fréza
 (c) šroubovitý vrták s nástrčnou stopkou

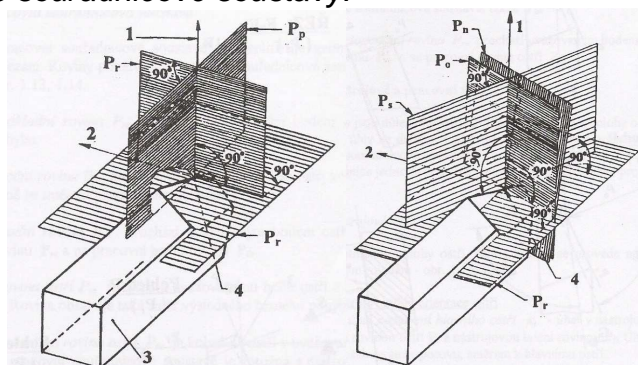
Předmětem řešení jsou nástroje s definovanou geometrií. Definovanou geometrií rozumíme nástroje s přesně volenou konstrukcí a veškerými potřebnými úhly funkčních ploch.

Ekonomicky výhodného použití řezných materiálů se dosahuje zavedením vyměnitelných břitových destiček (VBD). Základní tvary jsou rozmanité a upravené podle požadovaného použití.

Souřadnicové soustavy nástroje

Pokud je třeba jasně a srozumitelně definovat úhly řezné části nástroje definují se souřadnicové soustavy a to nástrojová a pracovní. Nástrojovou rovinu lze využít v případě potřeby identifikace geometrie řezné části nástroje ve statickém pojetí, kdežto u pracovní roviny se pohybujeme v procesu řezání. Zde je uvedena pouze rovina nástrojová, pro popis nástroje zcela postačující, uvedená na obrázku (obr. 1.10).

Popis nástrojové souřadnicové soustavy:



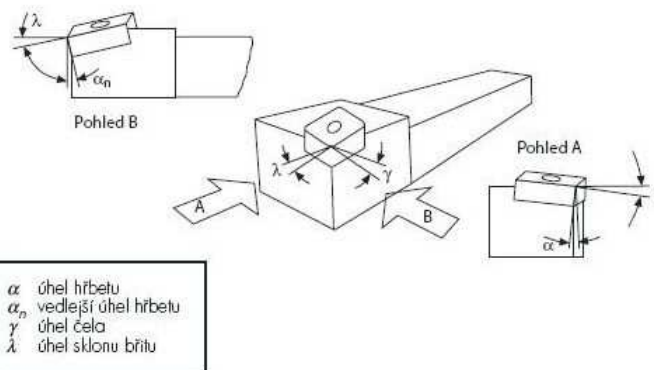
Obr. 1.10 Roviny nástrojové souřadnicové soustavy [3]

- nástrojová základní rovina P_r prochází uvažovaným bodem ostří a všeobecně je orientována kolmo k předpokládanému směru hlavního pohybu
- nástrojová boční rovina P_f prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r . Všeobecně je tato rovina orientována rovnoběžně s předpokládaným směrem posuvu.
- nástrojová zadní rovina P_p prochází uvažovaným bodem ostří, je kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r a nástrojovou boční rovinu P_f
- nástrojová rovina ostří P_s je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r . Analogicky se definuje nástrojová rovina vedlejšího ostří P'_s .
- nástrojová normální rovina ostří P_n je rovina kolmá k ostří v uvažovaném bodě ostří
- nástrojová ortogonální rovina P_o prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r a nástrojovou rovinu ostří P_s .
- nástrojová rovina největšího spádu čela P_g prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r a čelo γ .
- nástrojová rovina největšího spádu hřbetu P_b prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na nástrojovou základní rovinu P_r a hřbet α . [3]

1.2.1 Geometrie soustružnického nástroje

Použitím vyměnitelných břitových destiček např. ze slinutého karbidu u soustružnického nástroje se použije upínač pro ostří. Ty lze rozlišit od jednotlivých nástrojů v podstatě tvarováním tělesa nástroje, které obsahuje upínací konstrukci. Jejich rozdělení podle normy ISO 4984 vychází ze základního tvaru vyměnitelné břitové destičky a jejího geometrického uspořádání, a tedy též z možného směru řezu. [27]

V příčném řezu mají vyměnitelné břitové destičky šikmé nebo kolmo k základní ploše uspořádané boční plochy. Tak se získávají břitové destičky s různými úhly hřbetu α . U kolmo uspořádaných stran je úhel hřbetu α roven 0° . Tyto břitové destičky musí být pro realizaci příznivých obráběcích podmínek upnuty šikmo v držáku, aby vznikly kladné úhly hřbetu na hlavním a vedlejším břitu (obr. 1.11).



Obr. 1.11 Držák pro záporný úhel čela a sklonu ostří [27]

Při správném tvarování nástroje se zároveň dosahuje záporného ortogonálního úhlu čela γ_o a záporného úhlu sklonu břitu λ . Úhel hřbetu α na hlavním břitu a vedlejší úhel hřbetu α_n na vedlejších břitu jsou kladné díky vhodnému upnutí VBD.

Držáky

Na obrázku (obr. 1.12) je znázorněn kód ISO pro soustružnické držáky. Kód se skládá ze systému upínání (P), tvaru VBD (C), typu nástroje (L), úhlu hřbetu VBD (N), směru obrábění (R), průřezu stopky (25) (výška a šířka), délka nástroje (M) a z velikosti vyměnitelné břitové destičky (16).

Systém upínání	Tvar VBD	Typ nástroje	Úhel hřbetu VBD
C		A	7°
M		B	20°
P		D	0°
S		E	11°

Směr obrábění	Průřez stopky Výška (h) a šířka (b)	Délka nástroje (mm)	Velikost vyměnitelné břitové destičky
R		D 60 N 160	Průměr vnř. kruž. (mm)
L		E 70 P 170	06
N		F 80 R 200	09
		H 100 S 250	11 06
		K 125 T 300	13 07
		M 150 U 350	15 09 09 11
			12,7 22 12 12 15
			15,875 27 15 16 19
			19,05 33 19 19 23
			25,4 44 25 25 31

Soustružnický držák **P C L N R 25 25 M 16**

Obr. 1.12 Kódování ISO pro soustružnické držáky [27]

Vyměnitelné břitové destičky

Zde na (obr. 1.13) je znázorněno rozdělení VBD podle kódu ISO pro soustružení. Kde kód postupně udává její tvar (C), úhel podbroušení (N), toleranci rozměrů (M), upevnění lamače třísek (G), velikost VBD (12), tloušťka (04), rohový rádius (08), směr obrábění (N) a upnutí olamovače (SG) udávaný označením od výrobce.

Tvar		Standardní úhel podbrouš.		Tolerance			Metrické				Rohový rádius (mm)		
H	Šestihran	A	3°	A	±0,005	±0,025	±0,025	W	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (40-60°)	žádný	00	bez rádiusu
O	Osmihran	B	5°	F	±0,005	±0,013	±0,025	T	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (40-60°)	jednostranný	02	0,2
P	Pětihran	C	7°	C	±0,013	±0,025	±0,025	Q	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (40-60°)	žádný	04	0,4
S	Čtyřhran	D	15°	H	±0,013	±0,013	±0,025	U	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (40-60°)	dvěstranný	08	0,8
T	Trojhran	E	20°	E	±0,025	±0,025	±0,025	B	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (70-90°)	žádný	12	1,2
C	Kosodélník 80°	F	25°	G	±0,025	±0,025	±0,13	H	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (70-90°)	jednostranný	16	1,6
D	Kosodélník 55°	G	30°	J	±0,005	±0,05-±0,13	±0,025	C	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (70-90°)	žádný	20	2,0
E	Kosodélník 75°	N	0°	K*	±0,013	±0,05-±0,13	±0,025	J	S otvorem	Válcový otvor + Zahřoubení (70-90°)	dvěstranný	24	2,4
F	Kosodélník 50°	P	11°	L*	±0,025	±0,05-±0,13	±0,025	A	S otvorem	Válcový otvor	žádný	28	2,8
M	Kosodélník 86°	O	Další úhel podbrouš.	M*	±0,08-±0,18	±0,05-±0,13	±0,13	M	S otvorem	Válcový otvor	jednostranný	32	3,2
V	Kosodélník 35°			N*	±0,08-±0,18	±0,05-±0,13	±0,025	G	S otvorem	Válcový otvor	dvěstranný		
W	Šestihran			U*	±0,13-±0,38	±0,08-±0,25	±0,13	N	Bez otvoru	-	žádný		
L	Pravoúhelník							R	Ohne otvor	-	jednostranný		
A	Rovnoběžník 85°							F	Ohne otvor	-	dvěstranný		
B	Rovnoběžník 82°							X	-	-	speciální design		
K	Rovnoběžník 85°												
R	Kulatý												

* Obecně platí i tožně pro slnuté VBD, částečně závislé na velikosti

Soustruž. C N M G 12 04 08 (N) SG

Obr. 1.13 Kódování ISO pro VBD - soustružení [27]

Tvar a velikost vyměnitelné břitové destičky a tedy i maximální šířka záběru ostří jsou dány volbou držáku. Na (obr. 1.14) jsou udány držáky a destičky pro jednotlivé operace soustružení.

Obrábění nahrubo



Obrábění načisto



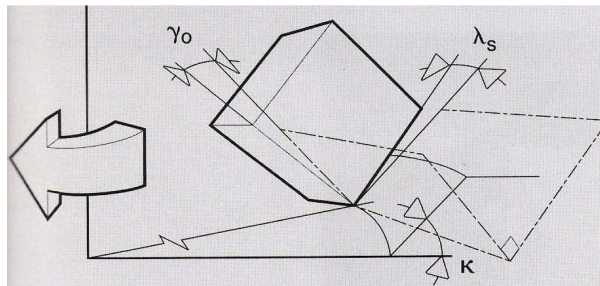
Nejjemnější hlazení



Obr. 1.14 Ukázka držáků a VBD pro jednotlivé druhy soustružení [27]

1.2.2 Geometrie frézovacího nástroje

Ke geometrii břitu frézy patří velký počet úhlů, určujících vzájemně polohu vyměnitelné břitové destičky, která je upnuta v tělese frézy. Na (obr. 1.15) jsou znázorněny hlavní tři. Úhel nastavení hlavního ostří κ je úhel mezi obráběnou plochou obrobku a hlavním ostřím. Zbylé dva jsou úhly funkční, úhel sklonu ostří λ_s a ortogonální úhel čela γ_o . Uvedené úhly ve značné míře ovlivňují výkon stroje při obrábění a také tvorbu a odchod třísky.



Obr. 1.15 Úhly na nástroji [1]

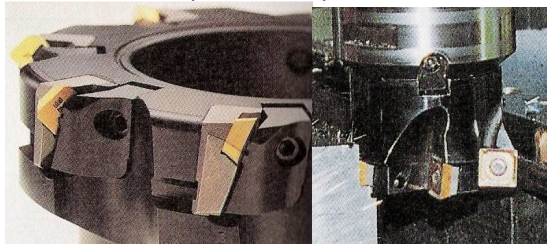
Vyměnitelné břitové destičky

Na (obr. 1.16) je znázorněno rozdělení VBD podle kódu ISO pro frézování. Kde kód postupně udává její tvar (S), úhel podbroušení (E), toleranci rozměrů (K), upevnění lamače třísek (N), velikost VBD (12), tloušťka (03), úhel nastavení (AF), provedení řezných hran (T), směr obrábění (N) a upnutí olamovače (SG) udávaný označením od výrobce.

Frézování																																																																																																																																																																																																																																						
S	E	K	N	12	03	AF	T	N																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <caption>Velikost vyměnitelné břitové destičky</caption> <thead> <tr> <th>Symbol</th> <th>02</th> <th>04</th> <th>03</th> <th>03</th> <th>06</th> <th>Vnitřní kruh (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3,97</td></tr> <tr><td>S3</td><td></td><td>05</td><td>04</td><td>04</td><td>06</td><td>4,76</td></tr> <tr><td>03</td><td></td><td>06</td><td>05</td><td>05</td><td>09</td><td>5,56</td></tr> <tr><td>06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6,00</td></tr> <tr><td></td><td>04</td><td>11</td><td>07</td><td>06</td><td>06</td><td>11</td><td>6,35</td></tr> <tr><td></td><td>05</td><td></td><td>09</td><td>08</td><td>07</td><td>13</td><td>7,94</td></tr> <tr><td>08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8,00</td></tr> <tr><td>09</td><td>06</td><td>16</td><td>11</td><td>09</td><td>09</td><td>16</td><td>9,525</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>10,00</td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>12,00</td></tr> <tr><td>12</td><td>08</td><td>19</td><td>15</td><td>12</td><td>12</td><td>22</td><td>12,70</td></tr> <tr><td></td><td>10</td><td></td><td>19</td><td>16</td><td>15</td><td>27</td><td>15,875</td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>16,00</td></tr> <tr><td>19</td><td>13</td><td></td><td>23</td><td>19</td><td>19</td><td>33</td><td>19,05</td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>27</td><td>22</td><td>22</td><td>38</td><td>22,225</td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>25,00</td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td>31</td><td>25</td><td>25</td><td>44</td><td>25,40</td></tr> <tr><td>31</td><td></td><td></td><td>38</td><td>32</td><td>31</td><td>55</td><td>31,75</td></tr> <tr><td>32</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>32,00</td></tr> </tbody> </table>								Symbol	02	04	03	03	06	Vnitřní kruh (mm)							3,97	S3		05	04	04	06	4,76	03		06	05	05	09	5,56	06						6,00		04	11	07	06	06	11	6,35		05		09	08	07	13	7,94	08							8,00	09	06	16	11	09	09	16	9,525	10							10,00	12							12,00	12	08	19	15	12	12	22	12,70		10		19	16	15	27	15,875	16							16,00	19	13		23	19	19	33	19,05	20							20,00				27	22	22	38	22,225	25							25,00	25			31	25	25	44	25,40	31			38	32	31	55	31,75	32							32,00	<table border="1"> <caption>Tloušťka</caption> <thead> <tr> <th>Metrické</th> <th>Tloušťka (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td>1,59</td></tr> <tr><td>02</td><td>2,38</td></tr> <tr><td>T2</td><td>2,78</td></tr> <tr><td>03</td><td>3,18</td></tr> <tr><td>T3</td><td>3,97</td></tr> <tr><td>04</td><td>4,76</td></tr> <tr><td>06</td><td>6,35</td></tr> <tr><td>07</td><td>7,94</td></tr> <tr><td>09</td><td>9,52</td></tr> </tbody> </table>	Metrické	Tloušťka (mm)	01	1,59	02	2,38	T2	2,78	03	3,18	T3	3,97	04	4,76	06	6,35	07	7,94	09	9,52	<table border="1"> <caption>Úhel nastavení</caption> <thead> <tr> <th>Symbol</th> <th>Úhel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>45°</td></tr> <tr><td>E</td><td>75°</td></tr> <tr><td>P</td><td>90°</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>Standardní úhel hřbetu širokých zarovnávacích fazetek</caption> <thead> <tr> <th>Symbol</th> <th>Úhel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>D</td><td>15°</td></tr> <tr><td>E</td><td>20°</td></tr> <tr><td>F</td><td>25°</td></tr> <tr><td>N</td><td>0°</td></tr> <tr><td>P</td><td>11°</td></tr> </tbody> </table>	Symbol	Úhel	A	45°	E	75°	P	90°	Symbol	Úhel	D	15°	E	20°	F	25°	N	0°	P	11°	<table border="1"> <caption>Směr obrábění</caption> <tbody> <tr><td>R</td><td>právé</td></tr> <tr><td>L</td><td>levé</td></tr> <tr><td>N</td><td>neutrální</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>Provedení řezných hran</caption> <tbody> <tr><td>F</td><td>ostří hran</td></tr> <tr><td>E</td><td>zaočlené</td></tr> <tr><td>T</td><td>sražené hr.</td></tr> <tr><td>S</td><td>sražená hrana a zaočlený</td></tr> </tbody> </table>	R	právé	L	levé	N	neutrální	F	ostří hran	E	zaočlené	T	sražené hr.	S	sražená hrana a zaočlený	<table border="1"> <caption>Upnutí olamovače</caption> <tbody> <tr><td>SG</td><td>označení výrobce</td></tr> </tbody> </table>	SG	označení výrobce
Symbol	02	04	03	03	06	Vnitřní kruh (mm)																																																																																																																																																																																																																																
						3,97																																																																																																																																																																																																																																
S3		05	04	04	06	4,76																																																																																																																																																																																																																																
03		06	05	05	09	5,56																																																																																																																																																																																																																																
06						6,00																																																																																																																																																																																																																																
	04	11	07	06	06	11	6,35																																																																																																																																																																																																																															
	05		09	08	07	13	7,94																																																																																																																																																																																																																															
08							8,00																																																																																																																																																																																																																															
09	06	16	11	09	09	16	9,525																																																																																																																																																																																																																															
10							10,00																																																																																																																																																																																																																															
12							12,00																																																																																																																																																																																																																															
12	08	19	15	12	12	22	12,70																																																																																																																																																																																																																															
	10		19	16	15	27	15,875																																																																																																																																																																																																																															
16							16,00																																																																																																																																																																																																																															
19	13		23	19	19	33	19,05																																																																																																																																																																																																																															
20							20,00																																																																																																																																																																																																																															
			27	22	22	38	22,225																																																																																																																																																																																																																															
25							25,00																																																																																																																																																																																																																															
25			31	25	25	44	25,40																																																																																																																																																																																																																															
31			38	32	31	55	31,75																																																																																																																																																																																																																															
32							32,00																																																																																																																																																																																																																															
Metrické	Tloušťka (mm)																																																																																																																																																																																																																																					
01	1,59																																																																																																																																																																																																																																					
02	2,38																																																																																																																																																																																																																																					
T2	2,78																																																																																																																																																																																																																																					
03	3,18																																																																																																																																																																																																																																					
T3	3,97																																																																																																																																																																																																																																					
04	4,76																																																																																																																																																																																																																																					
06	6,35																																																																																																																																																																																																																																					
07	7,94																																																																																																																																																																																																																																					
09	9,52																																																																																																																																																																																																																																					
Symbol	Úhel																																																																																																																																																																																																																																					
A	45°																																																																																																																																																																																																																																					
E	75°																																																																																																																																																																																																																																					
P	90°																																																																																																																																																																																																																																					
Symbol	Úhel																																																																																																																																																																																																																																					
D	15°																																																																																																																																																																																																																																					
E	20°																																																																																																																																																																																																																																					
F	25°																																																																																																																																																																																																																																					
N	0°																																																																																																																																																																																																																																					
P	11°																																																																																																																																																																																																																																					
R	právé																																																																																																																																																																																																																																					
L	levé																																																																																																																																																																																																																																					
N	neutrální																																																																																																																																																																																																																																					
F	ostří hran																																																																																																																																																																																																																																					
E	zaočlené																																																																																																																																																																																																																																					
T	sražené hr.																																																																																																																																																																																																																																					
S	sražená hrana a zaočlený																																																																																																																																																																																																																																					
SG	označení výrobce																																																																																																																																																																																																																																					

Obr. 1.16 Kódování ISO pro VBD - frézování [27]

Pro ilustraci jsou zde uvedeny ukázky držáků a vyměnitelných břitových destiček pro operaci frézování (obr. 1.17).



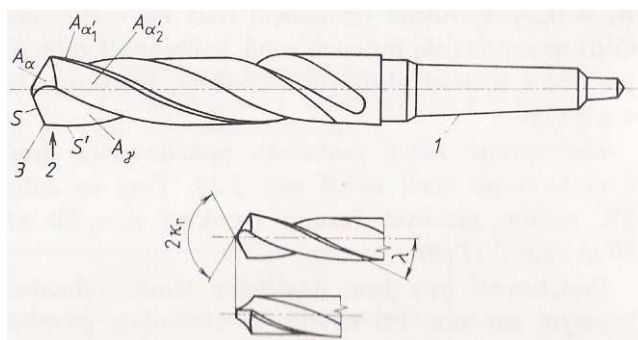
Obr. 1.17 Ukázka držáků a VBD při frézování [1]

1.2.3 Geometrie vrtáku

Pro zajištění nejlepšího výsledku při použití vrtáků osazených VBD je důležité znát používanou geometrii a také její výkonovou charakteristiku.

Podstatné výhody vrtáků s VBD spočívají ve stálé geometrii hrotu vrtáku, neměnné délce nástroje a v možnosti jednoduchého a úsporného přizpůsobení rezného materiálu právě obráběnému materiálu. Kromě toho odpadají pracovní procesy jako přebrušování a opakované povlakování břitů.

Kvůli asymetrickému uspořádání ostří na vrtáku s VBD vznikají velmi rozdílné podmínky obrábění na vnitřním a vnějším břitu. Vnější břit přitom obrábí podstatně větší objem při rovněž vyšší průměrné rychlosti. Rozdílné zatížení jednotlivých břitů se proto musí vyrovnávat volbou vhodných VBD.



Obr. 1.18 Geometrie šroubového vrtáku [4]

- (1) stopka
- (2) rezná část
- (3) špička

Obrázek (obr. 1.19) znázorňuje geometrii šroubového vrtáku, úhel nastavení hlavního ostří κ , úhel sklonu šroubovice λ , úhel hlavního hřbetu A_α , úhly vedlejšího hřbetu $A_{\alpha'_{1,2}}$, úhel čela A_γ , hlavní ostří S a vedlejší ostří S' .

Geometrie vyměnitelných břitových destiček pro vyvrtávací tyče

Na (obr. 1.18) je znázorněno rozdělení VBD podle kódu ISO pro vyvrtávací tyče. Kde kód postupně udává její provedení stopky (A), průměr nástroje (16), délku nástroje (M), systém upínání (S), tvar VBD (C), typ nástroje (L), úhel hřbetu (C), systém obrábění (R) a velikost VBD (09).

A	<ul style="list-style-type: none"> • Držák s uříž. příř. chlad. kap. • Osklové stopka 		<table border="1"> <tr> <td>M</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> </tr> </table>	M		P		S																														
M																																						
P																																						
S																																						
C	• Tvarokovové stopka	<table border="1"> <tr> <td>08</td> <td>∅8</td> <td>F</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>∅10</td> <td>H</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>∅12</td> <td>K</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>∅16</td> <td>M</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>∅20</td> <td>Q</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>∅25</td> <td>R</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>∅32</td> <td>S</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>∅40</td> <td>T</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>∅50</td> <td>U</td> <td>350</td> </tr> </table>	08	∅8	F	80	10	∅10	H	100	12	∅12	K	125	16	∅16	M	150	20	∅20	Q	180	25	∅25	R	200	32	∅32	S	250	40	∅40	T	300	50	∅50	U	350
08	∅8	F	80																																			
10	∅10	H	100																																			
12	∅12	K	125																																			
16	∅16	M	150																																			
20	∅20	Q	180																																			
25	∅25	R	200																																			
32	∅32	S	250																																			
40	∅40	T	300																																			
50	∅50	U	350																																			
E	<ul style="list-style-type: none"> • Držák s uříž. příř. chlad. kap. • Tvarokovové stopka 	Průměr nástroje ∅d (mm)	Délka nástroje L _s (mm)																																			
S	• Osklové stopka	Provedení stopky	Systém upínání																																			



Tvar VBD	Typ nástroje	Úhel hřbetu VBD	Velikost VBD																																																															
C	F 90°	C 7°	<table border="1"> <tr> <th>Vnitřní průřez nože (mm)</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>S</th> <th>T</th> <th>V</th> <th>W</th> </tr> <tr> <td>3,97</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>02</td> </tr> <tr> <td>4,76</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5,56</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>09</td> <td></td> <td>S3</td> </tr> <tr> <td>6,35</td> <td>06</td> <td>07</td> <td></td> <td>11</td> <td>11</td> <td>04</td> </tr> <tr> <td>9,525</td> <td>09</td> <td>11</td> <td>09</td> <td>16</td> <td>16</td> <td>06</td> </tr> <tr> <td>12,70</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>12</td> <td>22</td> <td></td> <td>08</td> </tr> <tr> <td>15,875</td> <td>16</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19,05</td> <td>19</td> <td></td> <td>19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Vnitřní průřez nože (mm)	C	D	S	T	V	W	3,97						02	4,76							5,56				09		S3	6,35	06	07		11	11	04	9,525	09	11	09	16	16	06	12,70	12	15	12	22		08	15,875	16						19,05	19		19			
Vnitřní průřez nože (mm)	C	D		S	T	V	W																																																											
3,97							02																																																											
4,76																																																																		
5,56					09		S3																																																											
6,35	06	07			11	11	04																																																											
9,525	09	11		09	16	16	06																																																											
12,70	12	15		12	22		08																																																											
15,875	16																																																																	
19,05	19			19																																																														
D	K 75°	E 20°																																																																
S	L 90°	N 0°																																																																
T	Q 107°/90°	P 11°																																																																
V	U 83°	Směr obrábění																																																																
W	Z	R																																																																
		L																																																																

Obr. 1.19 Kódování ISO pro vyvrtávací tyče [27]

Na obrázku (obr. 1.20) je uvedena ukázka vyvrtávací tyče firmy TGS s vyměnitelnými břitovými destičkami.



Obr. 1.20 Ukázka vyvrtávací tyče TGS s VBD [17]

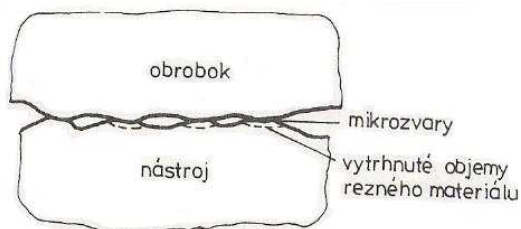
2 OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Každý řezný nástroj má břit. Ten se při obrábění opotřebovává. Je tedy důležité sledovat jeho opotřebení, předejít lomu břitu, vhodně a správně stanovovat řezné podmínky mající vliv na jeho trvanlivost a jakost obrobené plochy. Zabránit opotřebení zcela nelze, ovšem dá se vhodně jeho opotřebení zmírnit a tedy zároveň prodloužit jeho dobu použitelnosti v obráběcím procesu.

2.1 Technologická identifikace opotřebení

Pro hospodárnost průmyslové výroby a vysokou produktivitu práce je důležitý co největší výkon použitého nástroje při nejmenších výrobních nákladech [8]. Hospodárnost obrábění je tedy možné kvantifikovat stupněm dosažení co největšího efektu z daných výrobních možností [4].

Je tedy důležité sledovat technologické parametry nástrojů, mezi které můžeme zahrnout vlivy konstrukce, jakosti zvoleného materiálu, opotřebení nástroje a jeho intenzitu, trvanlivost nástroje, čímž je myšlena jeho životnost. Dodržením správných podmínek obrábění se dosahuje větší produktivity, za současně vhodně zvolených řezných podmínek a geometrie břitu.

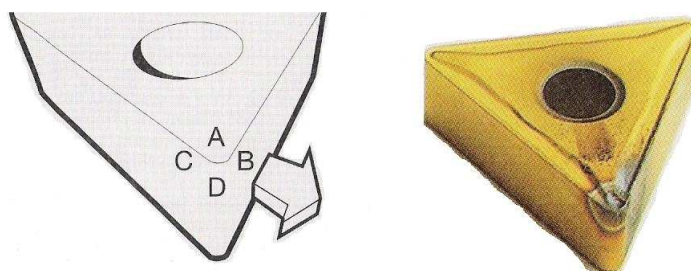


Obr. 2.1 Diskrétní dotyk mezi řezným a obráběným materiálem [21]

2.1.1 Opotřebení a jeho intenzita

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu břitové destičky [4]. Nástroj se tedy opotřebovává. Při obrábění na čisto lze za opotřebovanou vyměnitelnou břitovou destičku považovat vždy takovou, která není dále schopna dosahovat požadované jakosti opracování povrchu. Při obrábění na hrubo se nebere tak velký ohled na stav povrchu obrobku a přesnost rozměru, lze tedy připustit daleko větší hodnoty opotřebení. Opotřebení charakterizujeme tedy jako nežádoucí změnu povrchu nebo rozměrů tuhých těles, způsobenou buď vzájemnou interakcí funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a média, které opotřebení vyvolává. Opotřebení se projevuje jako odstraňování nebo přemísťování částic hmoty z funkčního povrchu, které je často doprovázeno i jinými chemickými nebo elektrochemickými procesy. Břit nástroje je tedy namáhán celou řadou

zatěžujících faktorů, snažících se změnit geometrii břitu. Je kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů [16].



Obr. 2.2 Oblasti opotřebení VBD [1]

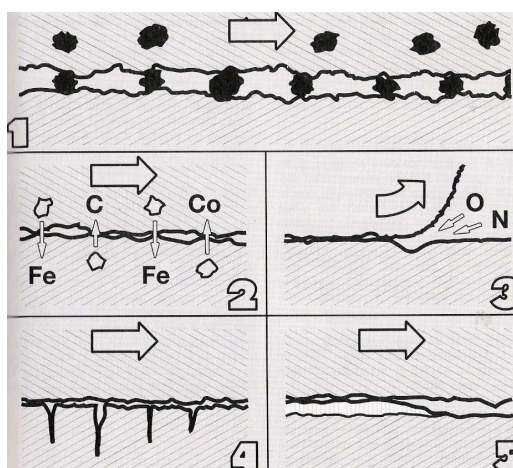
- (a) oblast čela
- (b) hlavní hřbet
- (c) vedlejší hřbet
- (d) poloměr špičky

Na obrázku (obr. 2.2) jsou znázorněny oblasti opotřebení na vyměnitelné břitové destičce. Typ a průběh opotřebení dávají důležité informace o tom, jak probíhala operace obrábění.

Mechanismus opotřebení

Rozdělení základních mechanismů opotřebení: abrazivní, difúzní, oxidační, lom (statický nebo dynamický) a adhezní. Uvedeno na obrázku (obr. 2.3)

Abrazivní otěr vzniká působením tvrdých částic nacházejících se v materiálu obrobku a je to nejrozšířenější mechanismus opotřebení. Difúzním otěrem rozumíme působení chemických vlivů na proces obrábění. Oxidační otěr je spojen s vysokými teplotami při řezném procesu, které ve spojení s okolním vzduchem vyvolávají oxidaci materiálu. Adhezní otěr lze nalézt převážně u obrábění za nízkých teplot a tvoří se na čele břitu nástroje.



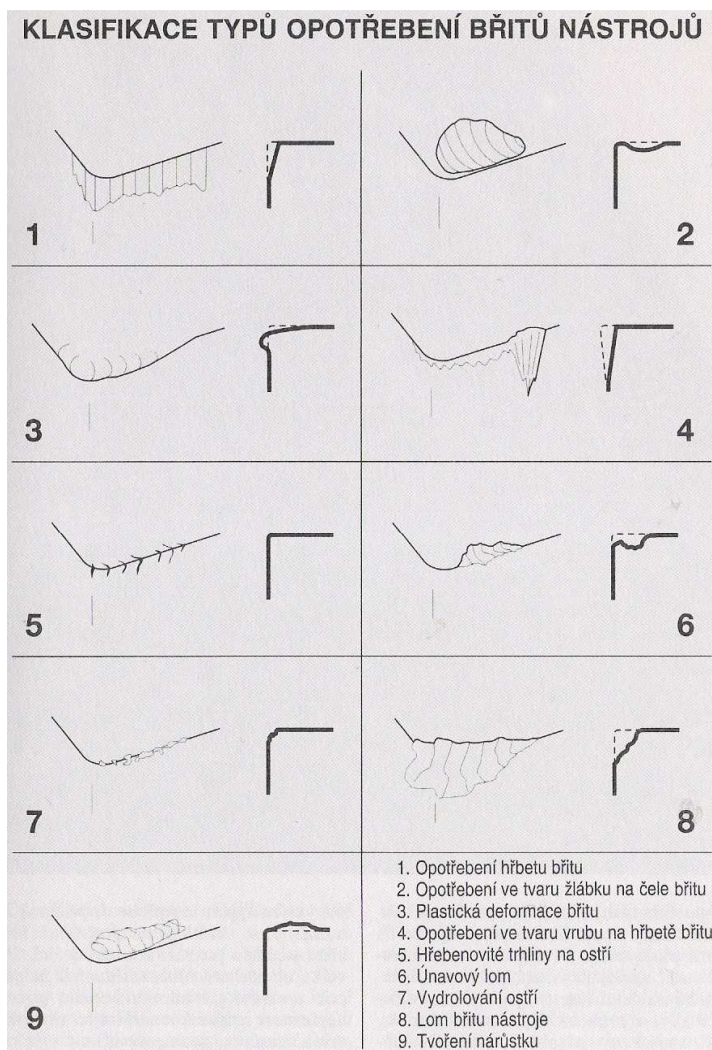
Obr. 2.3 Mechanismy opotřebení břitu [1]

- (1) abrazivní opotřebení
- (2) difúzní opotřebení
- (3) oxidační opotřebení
- (4) lom – statický nebo dynamický
- (5) adhezní opotřebení

Typy opotřebení

Opotřebení břitu může nabývat mnoha forem a je závislé na volbě technologických podmínek řezného procesu. Klasifikace těchto typů je potřebná z důvodu vytvoření báze pro posuzování operací obrábění a tím i možnost ovlivnit produktivitu již v tomto stádiu.

Formy opotřebení lze rozdělit na devět následujících forem uvedených na obrázku (obr. 2.4) s jejich popisem.



Obr. 2.4 Typy opotřebení [1]

Popis jednotlivých typů opotřebení

1. Opotřebení hřbetu břitu je abrazivní forma projevující se na hřbetní ploše břitu.
2. Opotřebení v tvaru žlábků na čele břitu se vytváří za působení difuzního opotřebení a abraze.
3. Plastická deformace břitu vznikne za vysokých řezných tlaků a teplot.
4. Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu je zastupitelem adhezivního nebo oxidačního opotřebení. Lze ho rozdělit podle toho, na jakém hřbetě se nachází

a to na hlavní nebo vedlejší. Na vedlejším je příčinou spíše mechanické opotřebení, tedy tvrdé částice materiálu obrobku.

5. Hřebenovité trhliny na ostří patří do skupiny únavového opotřebení, kde se jedná o šokové změny teplot, nedoporučuje se chlazení, zvýší ještě teplotní rozdíly.

6. Únavový lom je typickým následkem prudkých změn, které nastávají ve velikosti řezné síly.

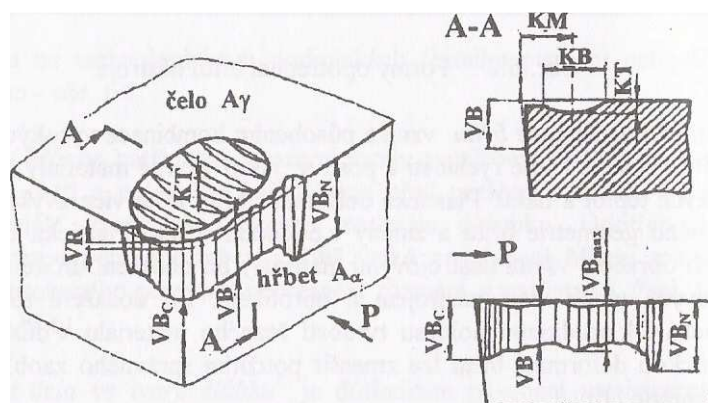
7. Vydrolování ostří patří do skupiny opotřebení, kde se břit vydroluje, místo toho aby se rovnoměrně opotřebovával, je to způsobeno špičkami zatížení.

8. Lom břitu nástroje se dá klasifikovat jako konečná každého nástroje nebo taky ukončení trvanlivosti, je tedy vhodné předcházet faktorům způsobujících tento nežádoucí jev.

9. Tvorba nárůstku je způsobena nevhodnou volbou řezné rychlosti a ve spojení s teplem vznikajícím při obrábění, vyskytuje se však jen zřídka.

Kvantifikace a časový průběh opotřebení

Je jedním z významných parametrů řezného procesu kvantifikující rozměrové charakteristiky, vztažené k postupnému opotřebování břitu řezného nástroje. Na obrázku (obr. 2.5) jsou znázorněny jednotlivé plochy kvantifikující míru opotřebení a příslušná legenda.



Obr. 2.5 Parametry opotřebení břitu řezného nástroje [3]

Legenda k obrázku (obr. 2.5):

VB ... průměrné opotřebení hřbetu

VB_c ... opotřebení hřbetu v oblasti špičky

VB_N ... vrubové opotřebení hřbetu

VB_{max} ... maximální opotřebení hřbetu

KT ... hloubka žlábků opotřebení čela

KB ... šířka žlábků opotřebení čela

KM ... poloha středu žlábků opotřebení čela

VR ... radiální opotřebení špičky

Nový nebo přestřený nástroj, zapojený do řezného procesu se začíná v důsledku času opotřebovávat. Konstruovat průběhové mapy opotřebovaných

ploch hřbetu A_α a čela A_γ je náročný problém, proto se zde bude opotřebení prezentovat, jako závislost průměrného opotřebení hřbetu, které je rovno funkci času, resp. hloubka žlábků opotřebení čela je rovna funkci času.

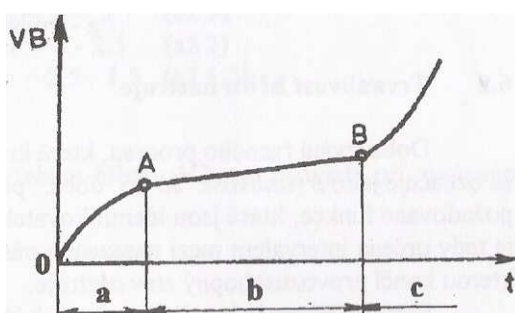
Vyjádření závislostí [3]:

$$VB = f(t)$$

$$KT = f(t)$$

(2.1)

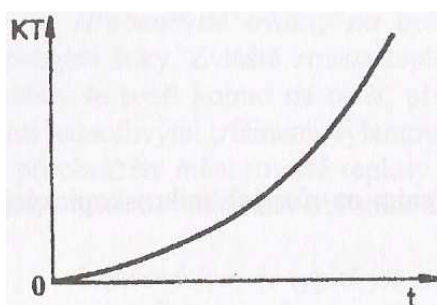
VB ...průměrné opotřebení hřbetu
 KT ...hloubka žlábků opotřebení čela



Obr. 2.6 Charakteristický průběh VB [3]

- (a) zrychlené záběhové opotřebení
- (b) lineární opotřebení s konstantní intenzitou
- (c) zrychlené nadměrné opotřebení

Tyto tři oblasti znázorněné na grafu (obr. 2.6) lze popsat popořadě jako oblast rychlého záběhového opotřebení, oblast lineárního opotřebení s konstantní intenzitou a poslední jako oblast zrychleného nadměrného opotřebení. Graf tedy vyjadřuje závislost průměrného opotřebení hřbetu v závislosti na čase. Kde první oblast popisuje tzv. záběh nástroje, dochází zde ke zrychlenému opotřebení, to vše je způsobeno v první řadě vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikro-nerovností povrchu hřbetu a defektností povrchové vrstvy (mikrotrhliny). V druhé oblasti se projevuje skoro lineární průběh opotřebení, tedy lze považovat intenzitu opotřebení za konstantní. Poslední oblast je projevem vysokého nárůstu opotřebení, kde lze počáteční bod spojit s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti řezného materiálu. Toto zrychlené opotřebení lze označit i jako lavinovitě.



Obr. 2.7 Charakteristický průběh KT [3]

Na obrázku (obr. 2.7) v grafu je uveden charakteristický průběh hloubky žlábků opotřebení čela v závislosti na čase. Je zde patrný progresivní nástup opotřebení, ten je způsoben přestupem tepla do nástroje, za současného zvětšování plochy styku mezi třískou, kopírující žlábek a žlábkem.

2.1.2 Trvanlivost břítu nástroje

Trvanlivost - životnost

Trvanlivost lze obecně popsat jako dobu, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit stanovené úkoly, popsané příslušnými parametry. Je to tedy interval mezi nasazením nástroje do řezného procesu a koncem provozuschopnosti tohoto nástroje. Na obrázku (obr. 2.8) je uvedena terminologie trvanlivosti.



Obr. 2.8 Terminologie trvanlivosti [27]

Trvanlivost břítu je snadno rozpoznatelným jevem, kdy se nejčastěji projevuje na jakosti obrobené plochy, přesnosti rozměrů obrobku, nezaručuje kontrolovatelný odchod třísky, není zaručena spolehlivá funkce břítu. Nejkrasším případem, který může nastat, je lom. Ten je z dnešního hlediska zcela nemyslitelným jevem, protože velká část výroby probíhá pod zavřeným krytem stroje, automatizována, často i bez obsluhy, takže zde je nutno striktně dodržovat stanovení trvanlivosti a spolehlivosti břítu a předcházet takovému drastickému konci. Břit, je tedy vyměněn dříve, než by mohlo dojít ke vzniku zmetků.

Velkou roli u trvanlivosti břítu hraje druh obrábění, na čisto nebo hrubování. Za opotřeбенý břit bude brán takový, který bude splňovat předem jasně definovaná kritéria. Při porovnávání hodnot opotřebení je třeba klást důraz na dodržování mezinárodních normalizačních postupů.

Jednoduchý Taylorův vztah [3]:

$$T = f(v_c) = C_T \cdot v_c^{-m} \quad [\text{min}]$$

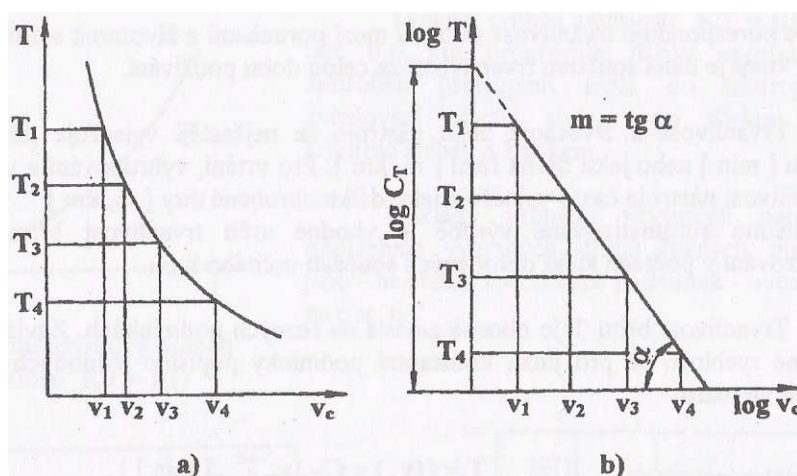
$$v_c = f(T) = C_V \cdot T^{-\frac{1}{m}} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$C_V = C_T^{\frac{1}{m}} \quad (2.2)$$

C_T ...konstanta [-]

m ...exponent [-]

v_c ...řezná rychlost [m/min]



Obr. 2.9 Průběh závislosti T [3]

(a) lineární souřadnice

(b) logaritmické souřadnice

Taylorův vzorec udává všeobecnou závislost mezi trvanlivostí břitu a řeznou rychlostí. Konstanta C_T závisí na materiálu obrobku a nástroje, velikost exponentu m charakterizuje vlastnosti řezného nástroje.

Na obrázku (obr. 2.9) je znázorněn průběh trvanlivosti T na velikosti řezné rychlosti v_c . Čím vyšší se volí řezná rychlost, tím klesá trvanlivost nástroje.

Životnost u VBD [3]:

$$\check{Z} = f(k_B, T_B) = k_B \cdot T_B = k_B \cdot C_T \cdot v_c^{-m} \quad [\text{min}]$$

C_T ...konstanta [-]

m ...exponent [-]

k_B ...počet břitů vyměnitelné destičky [-]

T_B ...trvanlivost jednoho břitu VBD [min]

(2.3)

Kromě životnosti, lze uvést jako další parametry trvanlivosti pro celková vyhodnocení i trvanlivost v metrech, při určování pojezdu vrtáku nebo frézy. Dalším parametrem může být trvanlivost počtu kusů pro automatizované strojní linky, obráběcí centra, atd.

2.2 Strojní časy

Je-li třeba efektivně hodnotit ekonomickou stránku obrábění, důležitým faktorem je čas. V podobě práce dělníků, strojů a jiných, které je třeba kalkulovat do ceny výrobku. Strojní čas vyjadřuje dobu popsanou v časových jednotkách, potřebnou k vykonání jednotlivé výrobní operace. Je tedy důležitým faktorem z hlediska hodnocení ekonomické efektivity při obrábění, který nelze opomíjet. Je tedy třeba jednotlivé pracovní úkony normovat. Normování výkonu je způsob, kterým stanovíme délku pracovního času, potřebného k provedení dané operace, s přihlédnutím na faktory ovlivňující tuto délku. Těmi mohou být např. odborná kvalifikace pracovníka, vlastnosti použitého materiálu, organizace výrobního procesu apod. Technolog provádí toto normování pro každou jednotlivou operaci zvlášť, na základě výrobního nebo montážního postupu.

2.2.1 Norma času pro obráběcí operace

Pro obráběcí operace je významnou složkou času jednotkové práce t_{A1} , čas nepravidelné obsluhy t_{Ax} , který se určuje pomocí času jednotkového strojního t_{As} , za předpokladu platnosti těchto vztahů.

Čas jednotkové práce [4]:

$$t_{A1} = t_{A11} + t_{A12} + t_{A13} + t_{Ax} \quad [\text{min}]$$

t_{A11} ...čas jednotkové práce za klidu [min]
 t_{A12} ...čas jednotkové práce za chodu [min] (2.4)
 t_{A13} ...čas jednotkové práce strojně ruční [min]
 t_{Ax} ...součet všech časů nepravidelné obsluhy za směnu [min]

Čas nepravidelné obsluhy za směnu [4]:

$$t_{Ax} = \frac{t_{As}}{100} \cdot T_{Ax} \quad [\text{min}]$$

t_{As} ...jednotkový strojní čas [min] (2.5)
 T_{Ax} ...normativní hodnota času z výkonových norem [%]

Normativní hodnota strojního času [4]:

$$T_{Ax} = \frac{\sum t_{Ax}}{\sum t_{As}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\sum t_{Ax} \dots \text{součet všech časů jednotkových strojních za směnu [min]} \quad (2.6)$$

$$\sum t_{As} \dots \text{součet všech časů nepravidelné obsluhy za směnu [min]}$$

2.2.2 Výpočet jednotkového strojního času

Obecný vztah [4]:

$$t_{As} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} \quad [\text{min}]$$

L ... délka [mm]

i ... počet záběrů (počet třísek) [-]

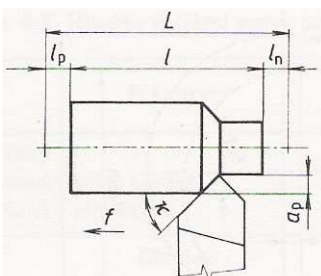
n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

(2.7)

2.2.3 Soustružení

a) podélné soustružení válcové plochy



Obr. 2.10 Soustružení válcové plochy [4]

Strojní čas [4]:

$$t_{As} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} \quad [\text{min}]$$

L ... délka [mm]

i ... počet záběrů (počet třísek) [-]

n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

(2.8)

Délka pohybu nástroje [4]:

$$L = l + l_n + l_p \quad [mm]$$

$$l_n = \frac{a_p}{\operatorname{tg} \kappa} + (0,5 \text{ až } 2) \quad [mm]$$

l ... čistá délka soustružení [mm]

l_n ... délka náběhu [mm]

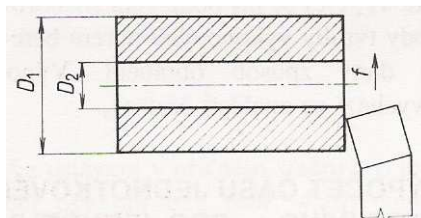
l_p ... délka přeběhu [mm]

κ ... úhel nastavení nože [°]

a_p ... šířka záběru ostří [mm]

(2.9)

b) soustružení čelní plochy při konstantních otáčkách



Obr. 2.11 Soustružení čelní plochy při konstantních otáčkách [4]

Strojní čas [4]:

$$t_{As} = \frac{(D_1 - D_2)}{2 \cdot (n \cdot f)} \quad [min]$$

D_1 ... maximální průměr [mm]

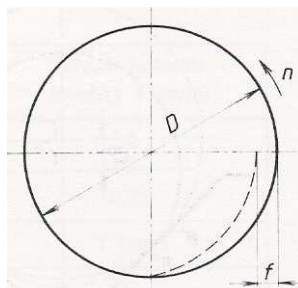
D_2 ... minimální průměr [mm]

n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

(2.10)

c) soustružení čelní plochy konstantní řeznou rychlostí



Obr. 2.12 Soustružení čelní plochy konstantní řeznou rychlostí [4]

Strojní čas [4]:

$$t_{As} = \frac{D}{4 \cdot (n \cdot f)} \quad [\text{min}]$$

D ... maximální průměr [mm] (2.11)

n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

Strojní čas zde vychází z přibližné délky Archimédovy spirály, ta přibližně odpovídá dráze, jakou nůž urazí a z řezné rychlosti.

Odvození strojního času [4]:

$$t_{As} = \frac{l_s}{1000 \cdot v_c} \quad [\text{min}]$$

$$l_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{f} \quad [\text{mm}]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$t_{As} = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{f}}{1000 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}} = \frac{\pi \cdot D^2}{\pi \cdot D \cdot n \cdot 4 \cdot f} = \frac{D}{4 \cdot (n \cdot f)} \quad [\text{min}] \quad (2.12)$$

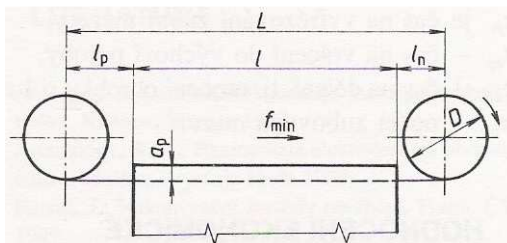
D ... maximální průměr [mm]

n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

2.2.4 Frézování

a) frézování rovinné plochy válcovou frézou



Obr. 2.13 Frézování rovinné plochy válcovou frézou [4]

Strojní čas [4]:

$$t_{As} = \frac{L}{f_{\min}} \quad [\text{min}]$$

$$L = l + l_p + l_n \quad [\text{mm}]$$

f_{\min} ... minimální posuv [mm/ot.]

L ... celková délka pohybu nástroje [mm] (2.13)

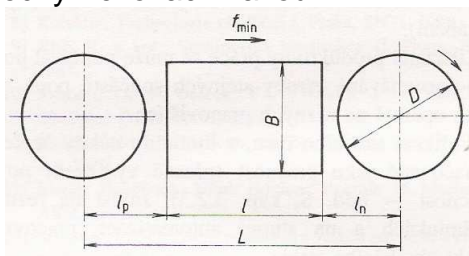
l ... čistá délka soustružení [mm]

l_n ... délka náběhu [mm]

l_p ... délka přeběhu [mm]

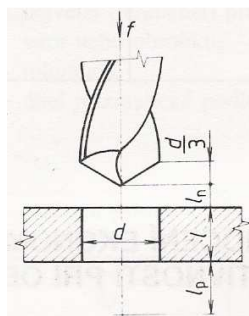
a_p ... hloubka záběru ostří [mm]

b) frézování rovinné plochy frézovací hlavou



Obr. 2.14 Frézování rovinné plochy frézovací hlavou [4]

2.2.5 Vrtání



Obr. 2.15 Vrtání [4]

Strojní čas [4]:

$$t_{As} = \frac{L}{(n \cdot f)} \quad [\text{min}]$$

$$L = l + l_n + l_p + \frac{d}{3} \quad [\text{mm}]$$

d ... průměr vrtané díry [mm]

n ... otáčky [1/min]

f ... posuv [mm/ot.]

L ... celková délka pohybu nástroje [mm]

l ... čistá délka soustružení [mm]

l_n ... délka náběhu [mm], l_p ... délka přeběhu [mm]

(2.14)

3 METODIKA KVANTIFIKACE PARAMETRŮ ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Vhodně zhodnotit ekonomické parametry při obrábění je polovinou úspěchu pro chod firmy nebo podniku. Sledují se nákladové položky vstupující do procesu obrábění. Od fixních nákladů na pronájem budovy, vytápění, osvětlení po variabilní náklady za materiál a mzdy. V následujících bodech jsou rozebrány důležitá kritéria, podle kterých se hodnotí jejich použití.

3.1 Ekonomické parametry řezného nástroje

Je-li třeba dosáhnout co nejlepší hospodárnosti při obrábění, je nutno disponovat celkovým přehledem o kompletním průběhu výroby, s možnostmi její optimalizace. Je třeba vhodně stanovit ekonomické účinky při výběru vhodné varianty řezného nástroje. Těmi se rozumějí náklady, které lze obecně shrnout jako peněžně vyjádřené vynaložení zdrojů ekonomického růstu, související s výrobou produktu, provedením práce nebo poskytnutím služeb.

Výkonnost nástroje lze definovat, jako práci jakou je schopen udělat nástroj za určitý čas. Tedy kolik je schopen odebrat materiálu z obrobku v čase.

Pro hospodárnou výkonnost nástroje se vychází z následujících hledisek:

- trvanlivost břitu
- řezné podmínky
- odchod a tvorba třísky
- spolehlivost
- výměna nástroje
- náklady na skladování

Tato hlediska popisují trvanlivost břitu na nástroji, je třeba ji vhodně prodlužovat, ale jen tak, aby byl dodržen vhodný poměr počtu vyrobených kusů a délky použití nástroje. Správně zvolené řezné podmínky určují dobu trvanlivosti jednoho břitu nástroje, jejich hodnoty nastavení by měly též splňovat podmínky vhodné doby použitelnosti a doby výroby jednoho kusu výrobku. Tvar třísky ovlivňuje do jisté míry materiál obrobku a utvařeč na VBD. Třísky může mít nejrůznější plynulé tvary až po třísku drobivou. Za použití předepsaných technologických podmínek obrábění ve spojení s obráběným materiálem a utvařečem třísky na břitové destičce lze dosáhnout požadovaného tvaru a odchodu třísky. Spolehlivost nástroje je dána dodržením předepsaných podmínek obrábění pro danou vyměnitelnou břitovou destičku, pokud bude nadměrně namáhána, její životnost rapidně klesá a nelze předpokládat tak velkou dobu použití. Může dojít k nadměrnému opotřebením, trhlinám a lomům dříve než se očekávalo, tedy její spolehlivost v řezném procesu klesá. Výměna nástroje musí probíhat v co nejkratším výměnném intervalu, aby nedocházelo ke zbytečným prostojům nebo odstávkám ve výrobě. Náklady na skladování nástrojů se pojí s efektivním

zabezpečením výroby nástroji, stanovuje je jejich potřeba co do druhu a množství. Není vhodné mít skladem zbytečně velké ani malé množství, aby nebyly zbytečně vynakládány peníze na jejich nákup i aby nedocházelo k jejich nedostatku. Vhodné množství lze správně vyjádřit pomocí vztahu normy spotřeby nářadí uvedeného ve vztahu (3.1).

Norma spotřeby nářadí [4]:

$$N_{sp} = \left(\frac{t_{pn} \cdot i}{60 \cdot \check{Z}} \right) \cdot q \cdot k_{nz} \quad [ks]$$

t_{pn} ... čas práce nástroje [min]

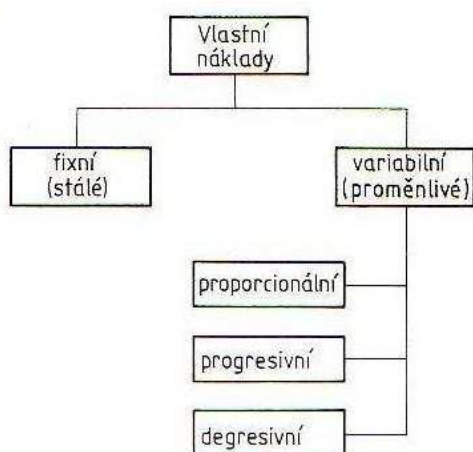
i ... počet současně pracujících stejných nástrojů při obrábění jedné součásti [-] (3.1)

\check{Z} ... životnost nástroje [hod]

q ... plánovaný počet vyráběných součástí [ks]

k_{nz} ... součinitel nahodilých ztrát, obvykle 1,05-1,5 [-]

Pokud řezný nástroj při obrábění nesplňuje výše uvedené požadavky, vznikají zbytečné náklady, není využito naplno výrobní kapacity a to vše se projevuje na ceně výrobku, který je danou operací vyráběn.



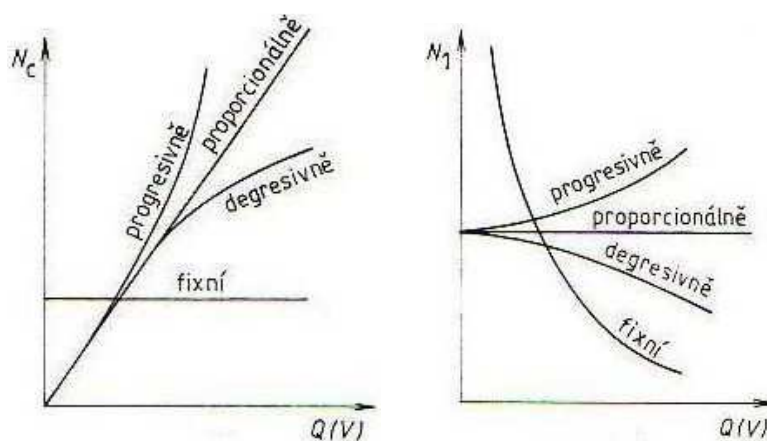
Obr. 3.1 Dělení vlastních nákladů v závislosti na změnách výroby [4]

Fixní náklady jsou takové, které se v podstatě s objemem výroby nemění. Jsou to např. náklady na vytápění, osvětlení, nájem budovy, odpisy apod.

Variabilní náklady se ovšem s objemem výroby mění. Patří sem spotřeba materiálu, mzdy výrobních dělníků, náklady na nástroje aj. Na tyto náklady na nástroje je zaměřena následující analýza. Fixní a variabilní náklady jsou uvedeny na obrázku (obr. 3.1).

Proporcionální náklady jsou přímo úměrné s růstem výroby, stejná výše na jednotku produkce, obvykle se jedná o zjednodušený předpoklad. Progresivní nákladová položka roste rychleji než objem produkce rostoucí na jednotku produkce, může se do nich zahrnovat přesčasová práce, marginálně nakupovaný materiál atd. Degresivní nákladová položka roste pomaleji než

objem produkce, můžou ji představovat množstevní slevy nebo náklady na skladování. [22] Jejich průběhy jsou znázorněny na grafech v obrázku (obr. 3.2) v závislostech celkových nákladů na množství produkce a nákladů na jednotku výroby na množství produkce.



Obr. 3.2 Celková výroba a jednotka výroby [4]

N_c ... celkové náklady [Kč]

N_j ... náklady na jednotku výroby [Kč/ks]

Q ... počet kusů [ks]

3.1.1 Ekonomická trvanlivost

Ekonomická trvanlivost T_e je vyjádřena dle následujícího vzorce (3.2). Lze počítat tuto variantu trvanlivosti v případě, je-li požadováno obrábět při nejnižších výrobních nákladech. Není tedy požadována maximální výrobnost, jde o ekonomickou stránku věci, obrábět tak, aby byly náklady na jeden vyrobený kus nejmenší možné.

Ekonomická trvanlivost bříty nástroje [1]:

$$T_e = \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \cdot \left(\frac{C_t}{C_m} + t_c \right) \quad [\text{min}]$$

α ... exponent závislosti řezná rychlost/čas [-]

C_t ... náklady na nástroj [Kč]

C_m ... strojní, mzdové a ostatní náklady [Kč/min]

t_c ... doba na výměnu nástroje [min]

(3.2)

Exponent α lze graficky určit (obr. 2.9) a vyjadřuje závislost poměru stran x / y . Náklady na nástroj C_t jsou vždy počítány na jeden břit na vyměnitelné břitové destičce.

3.1.2 Trvanlivost za maximální produktivity

Trvanlivost za maximální produktivity T_q je podobná variantě ekonomické trvanlivosti T_e . Zde se však jedná o variantu, kde je rozhodujícím faktorem čas, nikoliv cena. Je tedy třeba vyrobit během směnného provozu co nejvíce výrobků, přiblížit se co nejvíce maximální produktivitě, které lze za vhodně zvolených podmínek dosáhnout, náklady na jeden vyrobený kus jsou tedy až na druhém místě.

Trvanlivost za maximální produktivity [1]:

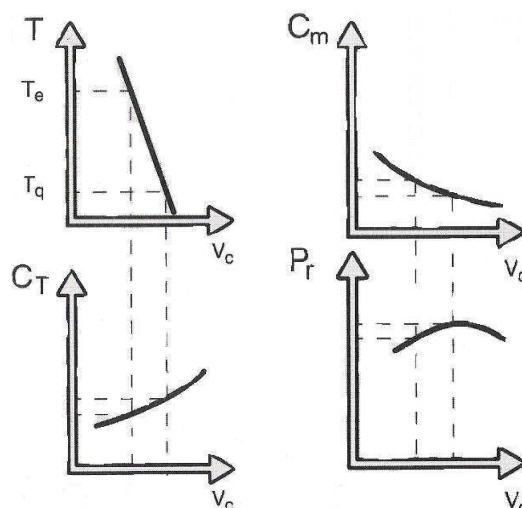
$$T_q = \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \cdot t_c \quad [\text{min}] \quad (3.3)$$

α ... exponent závislosti řezná rychlost/čas [-]

t_c ... doba na výměnu nástroje [min]

Na obrázku (obr. 3.3) jsou uvedeny trendy závislostí. Závislost trvanlivosti bříty T na řezné rychlosti v_c má lineární průběh (za předpokladu logaritmických souřadnic, obr. 2.9) a na svislé ose lze určit náklady ekonomické trvanlivosti T_e a trvanlivost za maximální produktivity T_q . Ty se protnou s lineárním průběhem grafu a lze je promítnout do grafu vyjadřujícího závislost nákladů na nástroje C_t na řezné rychlosti v_c . Ekonomická trvanlivost bříty T_e se nachází níže než trvanlivost za maximální produktivity T_q . To tedy vyjadřuje, že náklady na nástroje jsou za použití varianty ekonomické trvanlivosti nižší než při použití druhé varianty.

V pravém sloupci grafů (obr. 3.3) je znázorněna závislost ostatních nákladů C_m na řezné rychlosti v_c . Pokud je opodstatněno zvolení varianty ekonomické trvanlivosti, rostou pro tuto variantu ostatní náklady oproti variantě za maximální produktivity, které se nacházejí níže. Na posledním grafu je znázorněna závislost počtu zhotovených obrobků za hodinu P_r v závislosti na řezné rychlosti v_c . Ekonomická trvanlivost se nachází logicky na nižší pozici, protože touto variantou se vyrobí za hodinu méně výrobků oproti variantě maximální produktivity.



Obr. 3.3 Vzájemná závislost nákladových faktorů [1]

 T ...trvanlivost břitu [min] C_m ...strojní, mzdové a ostatní náklady na minutu práce [Kč/min] C_t ...náklady na nástroj [Kč] P_r ...počet obrobků zhotovených za hodinu [ks/hod] v_c ...řezná rychlost [m/min] T_e ...ekonomická trvanlivost břitu nástroje [min] T_q ...trvanlivost za maximální produktivity [min]

3.1.3 Hodinová produktivita výroby

Udává závislost počtu obrobků zhotovených za hodinu práce stroje. Je třeba, aby tato hodnota byla co nejvyšší, současně však s přihlédnutím na faktor trvanlivosti.

Počet obrobků zhotovených za hodinu [1]:

$$P_r = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{t_c}{T}\right)}{t_p} \quad [\text{ks/hod}] \quad (3.4)$$

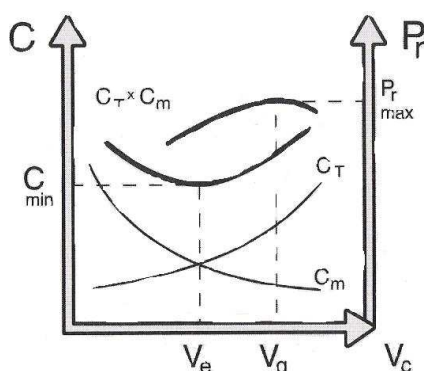
t_p ...celková doba obrábění jednoho kusu, vč. výměny nástrojů a prostojů [min]

t_c ...doba na výměnu nástroje [min]

T ...trvanlivost břitu [min]

Celkovou dobou obrábění jednoho kusu t_p obrobku se rozumí doba, která kvantifikuje součet všech dob vstupujících do tohoto procesu. Mezi tyto časy lze začlenit vlastní dobu výroby obrobku, výměnu nástroje, prostoje vzniklé např. výpadkem elektrické energie či čas na seřízení nástroje mezi jednotlivými operacemi nebo čas, za který jsme na stroji vyrobily nevyhovující obrobky, zmetky.

Na (obr. 3.4) je uvedena závislost celkových nákladů C (ty jsou součtem nákladů na nástroje C_t a ostatních nákladů C_m) a počtu vyrobených obrobků za hodinu P_r v závislosti na řezné rychlosti v_c . Uvedeny jsou i křivky nákladů na nástroje C_t a ostatních nákladů C_m . Protnutím těchto dvou křivek nalezneme bod, který udává optimální velikost řezné rychlosti při ekonomické trvanlivosti v_e a zároveň bod minimálních nákladů C_{\min} . Naopak bod maximálního počtu obrobků zhotovených za hodinu práce $P_{r\text{MAX}}$ lze nalézt na vrcholu křivky udávající počet obrobků zhotovených za hodinu P_r a vedením vodorovné čáry na osu řezné rychlosti získáme optimální hodnotu řezné rychlosti při maximální produktivitě v_q .



Obr. 3.4 Vzájemná závislost nákladových faktorů a počtu zhotovených obrobků za hodinu [1]

C ...celkové náklady na obrábění [Kč]

C_m ...strojní, mzdové a ostatní náklady na minutu práce [Kč/min]

C_t ...náklady na nástroj [Kč]

C_{\min} ...minimální náklady [Kč]

P_r ...počet obrobků zhotovených za hodinu [ks/hod]

$P_{r\text{MAX}}$...maximální počet obrobků zhotovených za hodinu [ks/hod]

v_c ...řezná rychlost [m/min]

v_e ...řezná rychlosti při ekonomické trvanlivosti [m/min]

v_q ...řezná rychlost při maximální produktivitě [m/min]

3.1.4 Návrh investic

Při optimalizaci výroby je nutno klást důraz na nižší náklady při výrobě nebo tedy na dosažení velkého objemu výroby. Obě varianty povedou ke stejnému cíli a tím jsou úspory obráběcích časů. Lze tedy s jistotou prohlásit, že čas jsou peníze. V tom případě je třeba dbát na efektivní využívání výrobního zařízení i řezných nástrojů, tím se zlepší hodnota návratnosti investic vložených do pořízení všech těchto věcí, uvedený ve vzorci (3.5). Je nutno podotknout, že návratnost investic úzce souvisí s náklady na stroj, který

je považován na rozdíl od nástroje za investici, ovšem stroj a nástroj jsou zde uvažovány jako celek, tedy je třeba tuto závislost neopomíjet.

Návratnost investic - Return on Investment [1]:

$$ROI = \frac{S \cdot M_c}{I} \quad [\text{roky}]$$

S ... úspora za rok [Kč/rok]

M_c ... amortizace [rok]

I ... vstupní investice [Kč]

(3.5)

Byla-li zavedena nová technologie výroby, má být efektivnější, ušetřit čas na výrobu jednoho kusu a snížit tedy náklady na výrobu. Tomu ovšem předchází nutně investice do tohoto zařízení. Pod vstupní investicí I si lze představit náklad na pořízení stroje, nástroje i třeba náklady na pořízení části budovy ve které se dané zařízení nachází. Toto zavedení nové výroby spolu přinese očekávanou úsporu S , která se co možná nejpřesněji vyjádří za celý rok používání. Pojem amortizace M_c si lze vysvětlit několika způsoby. Přejít hodnoty dlouhodobého majetku do produkce ve formě odpisů nebo splácení dluhů v předem stanovených pevných částkách.

3.2 Náklady na provoz nástroje

Provozem nástroje se rozumí taková činnost nástroje, kdy nástroj koná práci a kdy jsou vynakládány prostředky na jeho provoz. Práci nástroje se rozumí činnost, kdy je odebírána z obrobku tříška. Náklady na nástroj jsou důležitým faktorem, který je třeba vhodně ovlivňovat a držet v jistých rozumných mezích. Zbytečně neměnit nástroj, který by byl schopen určitý čas vhodně pracovat nebo naopak se vystavovat riziku nadměrného opotřebení, deformace či dokonce lomu. Uvedeny jsou vztahy pro výpočet nákladů na provoz takového nástroje nebo na jedno nasazení, ty nemohou být opomíjeny a je třeba je též zakalkulovat do ceny výrobku.

3.2.1 Náklady na jednu minutu provozu nástroje

Tyto náklady lze rozdělit na několik složek. Těmi jsou varianty, kdy se na nástroji nachází pouze jeden břit, více břitů nebo náklady na přestřžení nástroje.

a) Jeden břit VBD

Náklady na 1min provozu nástroje:

$$N_{1pn} = \frac{C_{pn}}{T} \quad [\text{Kč} / \text{min}] \quad (3.6)$$

C_{pn} ...cena pořízení nástroje [Kč]

T ...trvanlivost nástroje [min]

Náklady na jednu minutu provozu nástroje za předpokladu, že se na nástroji nachází pouze jeden břit. Vstupními hodnotami jsou cena na pořízení tohoto nástroje a jeho trvanlivost v minutách.

b) VBD s více břity

Náklady na 1min provozu nástroje:

$$N_{1pnv} = \frac{C_{pn}}{n \cdot T} \quad [\text{Kč} / \text{min}] \quad (3.7)$$

C_{pn} ...cena pořízení nástroje [Kč]

T ...trvanlivost nástroje [min]

n ...počet břitů na nástroji [-]

Náklady na jednu minutu provozu nástroje za předpokladu, že je nástroj vícebřítý, lze vypočítat tak, že vynásobíme počet břitů trvanlivostí jednoho břitu a od této hodnoty odečteme dobu potřebnou na pootočení tohoto břitu násobenou počtem břitů. Tu nelze přičítat k hodnotě trvanlivosti z důvodu toho, že by se celkové sledované náklady na minutu snižovaly, ani ji opomíjet, protože do celého procesu vstupuje. Hodnota se odečítá, což teoreticky snižuje její trvanlivost, ale na druhé straně nám vzniká prostoj, kdy se na stoji nepracuje, ovšem náklady stále naskakují.

c) Přeastřovaný nástroj

Náklady na 1min provozu nástroje:

$$N_{1pno} = \frac{C_{pn} + m \cdot N_o}{m \cdot T} \quad [\text{Kč} / \text{min}] \quad (3.8)$$

C_{pn} ...cena pořízení nástroje [Kč]

N_o ...náklady na m ostření nástroje [Kč]

T ...trvanlivost nástroje [min]

m ...počet přeastření [-]

Ve vzorci (3.8) je uvedena varianta, kdy máme nástroj a je třeba přeastřovat jeho břit a zajímají nás náklady na minutu provozu takového nástroje. Cenu pořízení nástroje dělíme počtem přeastření násobený trvanlivostí nástroje a odečteme součin prostoje v podobě počtu přeastření násobeného dobou, kterou potřebujeme na znovu naostření nástroje. Tu nelze

opět opomíjet ani přičítat k době trvanlivosti, nevhodně by se tím prodlužovala jeho trvanlivost.

3.2.2 Náklady na jedno nasazení nástroje

Pokud se nacházíme ve výrobě, kde se stále v krátkých intervalech mění nástroje z různých technologických i jiných důvodů, budou zcela neopomíjenou součástí nákladů i náklady na jedno nasazení nástroje.

Náklady na 1 nasazení nástroje:

$$N_{nm} = \frac{60 \cdot M}{t_v} + t_v \cdot \frac{n}{60} \cdot Z_v \quad [\text{Kč}]$$

(3.9)

M ... mzda pracovníka [Kč/hod]
 t_v ... čas potřebný na výměnu nástroje [min]
 n ... počet výrobků zhotovených za hodinu [ks/hod]
 Z_v ... zisk na 1ks výrobku [Kč]

Náklady na jedno nasazení nástroje lze zjistit dle uvedeného vztahu (3.9), kdy mzdu pracovníka provádějícího výměnu nástroje, dělíme součtem času potřebného k výměně nástroje. Výměna nástroje spočívá ve vyjmutí starého nebo nepotřebného nástroje a nahrazením novým nebo přestrojeným nástrojem. Dále je nutno započítat do kalkulace ostávku stroje, kdy vynásobíme položky času výměny počtem výrobků, které by se daly během odstávky vyrobit a ziskem na tomto jednom kusu.

3.2.3 Náklady na 1cm³ odebraného materiálu

Dalším úhlem pohledu na náklady na nástroj jsou náklady na 1cm³ obrobené plochy na obrobku.

Náklady na 1cm³ obrobeného materiálu:

$$N_{1om} = \frac{C_{pn} \cdot t_o}{T \cdot V_t} \quad [\text{Kč} / \text{cm}^3]$$

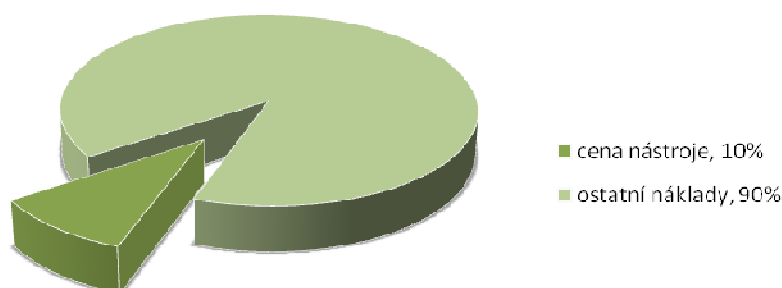
(3.10)

C_{pn} ... cena pořízení nástroje [Kč]
 T ... trvanlivost nástroje [min]
 t_o ... doba obrábění [min]
 V_t ... odebraný objem třísky [cm³]

Tyto náklady jsou popsány vztahem (3.10), kdy násobíme cenu pořízení nástroje dobou obrábění a podělíme trvanlivostí nástroje a objemem odebrané třísky. Tento vztah nalezneme využití u provozů, kde jsou často měněny nástroje nebo zhotovované výrobky, pro rychlé vyjádření nákladů na obrábění.

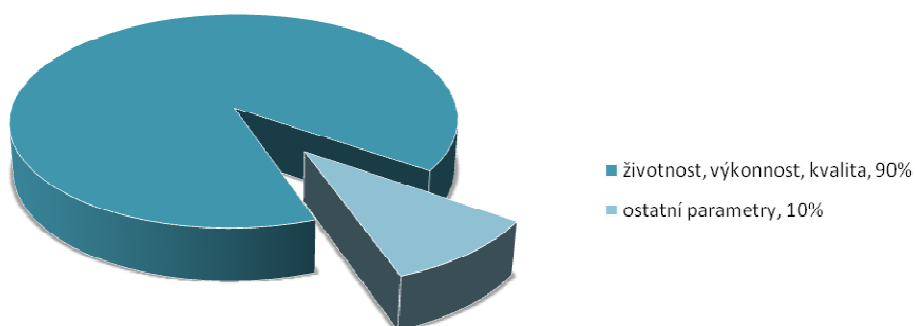
3.3 Trendy a zhodnocení nákladů na provoz nástroje

Dlouhodobé analýzy a statistiky zabývající se obráběcí technikou ukazují, že cena nástrojů v obráběcích strojích se do nákladů celkového procesu tímto strojem vykonávaného promítá podílem cca 9 - 10%. Přitom však parametry této složky obráběcího procesu, tj. jejich životnost, výkonnost, kvalita atd., ovlivňují celkový výsledek tohoto procesu až z 91%. [23]



Obr. 3.5 Podíl nákladů na nástroje v obráběcích strojích [23]

Role obráběcích strojů je tedy naprosto podstatná, čímž jistě nemá být řečeno, že samotný stroj, v němž jsou nástroje aplikovány, je pouhým jejich „nosičem“, protože záleží samozřejmě na souhře všech složek obráběcího mechanismu. [23]



Obr. 3.6 Podíl parametrů nástroje ovlivňující celkový výsledek obráběcího procesu [23]

Jiným trendem v oblasti obráběcích nástrojů je to, že se musejí vyrovnávat s pokračující miniaturizací dílů, jež jsou jimi vyráběny. Už dávno zde nejde jenom o opracování součástek pro elektroniku a medicínu.

Vývojáři musejí brát v úvahu i sílící požadavky odběratelů, kteří by uvítali, kdyby nástroje byly jednodušší. Nejde tu z jejich strany pouze o pochopitelnou snahu o pohodlnost obsluhy, ale i o důsledek situace, kdy se začíná pociťovat nedostatek kvalifikovaného personálu, schopného náročně nástroje obsluhovat a starat se o ně.

Jiné přání klientů je to, aby nástroje byly k mání za pokud možno nízké ceny. Na to odborníci odpovídají tak, že vývoj stále kvalitnějších a výkonnějších nástrojů s delší životností stojí velké peníze, takže tomuto pochopitelnému přání uživatelů lze vycházet vstříc jenom do určité míry. Už samotné materiály, s nimiž se ve výzkumu a vývoji nástrojů pokusně pracuje, jsou podstatně dražší než běžné nebo i ušlechtilé sorty oceli a jiných kovů. Poukazují i na komerčně - psychologickou zásadu, že kvalitní výrobek je a vždycky musí být dražší než méně kvalitní, a to i v případě, kdy trh prodávajícího má převahu nad trhem kupujícího. Mohou přitom poukázat na již bohužel dost četné případy, kdy si provozovatelé obráběcí techniky ve snaze ušetřit koupili poměrně levné nástroje, které nabízejí hlavně mimoevropští výrobci (kromě Japonska a Ameriky), ale brzy museli konstatovat, že ušetřili na nesprávném místě.

Rezné rychlosti, přesnost obrábění a finální kvalita povrchu obrobků opracovávaných takovými nástroji byla nejméně o třídu horší, a několikrát se prodloužily časy potřebné pro údržbu, opravu a finální opracování. Rovněž tak životnost „levných“ nástrojů byla podstatně kratší, než v případě nástrojů od výrobců zavedených značek. V případě používání takovýchto nástrojů od mimoevropských výrobců se ukázalo jako zcela nevhodné či nemožné. [23]

Tab. 3.1 Tabulka exportu čínských obráběcích strojů a nástrojů za rok 2008 [25]

druh zboží	hodnota exportu v tis. \$	meziroční nárůst v %	podíl z celkového exportu v daném segmentu v %
obráběcí stroje	572.890	32,09	20,89
obráběcí nástroje	463.860	40,05	16,91

V tabulce (3.1) jsou znázorněny hodnoty export např. čínských obráběcích strojů a nástrojů za rok 2008 a meziroční nárůsty oproti roku 2007. USA jsou největším trhem pro export čínských strojů a nástrojů, ale právě čínský export na tento trh vykázal za první kvartál roku 2009 negativní růst. Na druhou stranu, export do Indie, Brazílie, Ruska a Jižní Koreje se velmi výrazně zvýšil. [25]

3.3.1 Tool Management

Hospodárnější využití výkonných řezných nástrojů by měl zajistit soubor technických a organizačních prostředků, který začali v různých variantách nabízet především výrobci nástrojů pod obecným označením Tool Management. Jedná se o smluvní systém služeb úzce propojující výrobce s uživatelem, kterým jsou řešeny otázky dodávek nebo zápůjček řezných nástrojů, sledování spotřeby s automatickým doplňováním nástrojů pro zajištění plynulé výroby, organizace a provádění ostření, údržby a oprav nástrojů, likvidace opotřebovaného řezného materiálu apod.

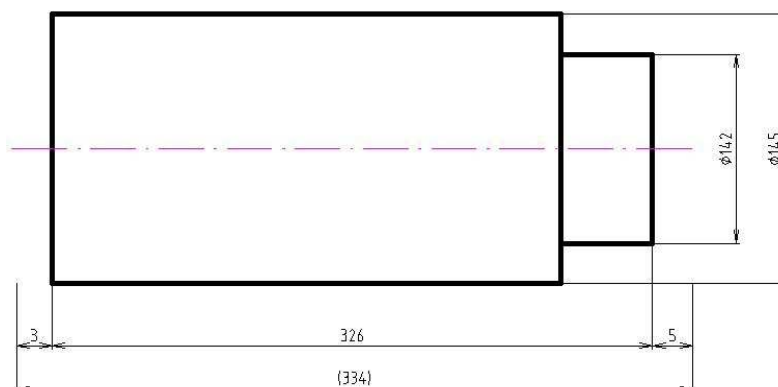
Nabízené služby umožní, aby zákazník krátkodobě využil předností nákladného nástroje, např. s kubickým nitridem boru bez toho, že nástroj koupí a potom ho nechá delší dobu nevyužitý. [24]

4 ANALÝZA DOSAHOVANÝCH TECHNOLOGICKÝCH A EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ ŘEZNÉHO NÁSTROJE

V této kapitole je analyzována předchozí kapitola metodika kvantifikace parametrů řezného nástroje na konkrétním příkladě.

4.1 Zadání příkladu

Dle obrázku (obr. 4.1) soustružíme součást z počátečního průměru na koncový průměr na čisto. Ze zadaných hodnot v tabulce 4.1 je spočtena trvanlivost nástroje, hodinová produktivita a náklady na provoz nástroje. Dále jsou navrženy další varianty, ekonomická trvanlivost a maximální produktivita.



Obr. 4.1 Náskres vyráběné součásti s rozměry

Tab. 4.1 Tabulka zadaných hodnot

název	označení	hodnota	jednotky
délka součásti	l	326	[mm]
délka náběhu	l_n	5	[mm]
délka přeběhu	l_p	3	[mm]
počet třísek	i	1	[-]
posuv	f	0,25	[mm]
počáteční průměr	D_o	145	[mm]
konečný průměr	D	142	[mm]
jednotkový vedlejší čas	t_c	4	[min]
Taylorova závislost		$T \cdot v_c^3 = 9,16 \cdot 10^6$	
řezná rychlost	v_{cl}	86	[m/min]
náklady na 1 břit nástroje	C_t	150	[Kč/břit]
náklady na provoz stroje	C_m	978	[Kč/hod]

Strojní čas:

$$t_{AS(l)} = \frac{L \cdot i}{n_1 \cdot f} = \frac{334 \cdot 1}{188,8 \cdot 0,25} = 7,076 \text{ min}$$

$$L = l + l_n + l_p = 326 + 5 + 3 = 334 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$v_{c(l)} = \frac{\pi \cdot D_o \cdot n}{1000} \Rightarrow n_1 = \frac{v_{c(l)} \cdot 1000}{\pi \cdot D_o} = \frac{86 \cdot 1000}{\pi \cdot 145} = 188,8 \text{ ot/min}$$

Koeficient α :

$$\alpha = \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{m} = \frac{1}{3} = 0,33$$

$$T \cdot v_c^m = C_T \quad (4.2)$$

$$T \cdot 86^3 = 9,16 \cdot 10^6$$

Náklady na provoz stroje za 1 min:

$$C_m = \frac{C_m / \text{hod}}{60 \text{ min}} = \frac{978}{60} = 16,3 \text{ Kč/min} \quad (4.3)$$

Trvanlivost nástroje:

$$T \cdot v_c^m = C_T$$

$$T_1 \cdot 86^3 = 9,16 \cdot 10^6 \quad (4.4)$$

$$T_1 = \frac{9,16 \cdot 10^6}{86^3} = 14,4 \text{ min}$$

Hodinová produktivita:

$$P_{r(l)} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{t_c}{T_1}\right)}{t_{p(l)}} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{4}{14,4}\right)}{11,076} = 3,921 \text{ ks/hod} \quad (4.5)$$

$$t_{p(l)} = t_{AS(l)} + t_c = 7,076 + 4 = 11,076 \text{ min}$$

Odebraný objem třísky:

$$V_t = \left(\frac{\pi \cdot D_o^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot l = \left(\frac{\pi \cdot 145^2}{4} - \frac{\pi \cdot 142^2}{4} \right) \cdot 326 = 220437 \text{ mm}^3 \quad (4.6)$$

$$V_t = 220,4 \text{ cm}^3$$

4.2 Výpočet nejvhodnější varianty výroby

Ekonomická trvanlivost a maximální produktivita:

$$T_e = \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \cdot \left(\frac{C_t}{C_m} + t_c\right) = \left(\frac{1}{0,33} - 1\right) \cdot \left(\frac{150}{16,3} + 4\right) = 26,4 \text{ min}$$

$$T_q = \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \cdot t_c = \left(\frac{1}{0,33} - 1\right) \cdot 4 = 8 \text{ min}$$
(4.7)

Ve vztahu 4.7 jsou navrženy další možné varianty výroby a spočtena trvanlivost jednoho břitu za příslušných podmínek.

Řezné rychlosti jednotlivých variant:

$$T \cdot v_c^m = C_T$$

$$T \cdot v_c^3 = 9,16 \cdot 10^6$$

$$C_T^{\frac{1}{m}} = C_V = \left(9,16 \cdot 10^6\right)^{\frac{1}{3}} = 209,24$$

$$v_{c(e)} = C_V \cdot T_e^{\frac{1}{m}} = 209,24 \cdot 26,4^{\frac{1}{3}} = 70,27 \text{ m/min}$$

$$v_{c(q)} = C_V \cdot T_q^{\frac{1}{m}} = 209,24 \cdot 8^{\frac{1}{3}} = 104,62 \text{ m/min}$$
(4.8)

Řezné rychlosti jednotlivých variant ekonomické trvanlivosti a trvanlivosti za maximální produktivity.

Ekonomická hodinová produktivita výroby:

$$P_{r(e)} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{t_c}{T_e}\right)}{t_{p(e)}} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{4}{26,4}\right)}{12,66} = 4,021 \text{ ks/hod}$$

$$t_{p(e)} = t_{AS(e)} + t_c = 8,66 + 4 = 12,66 \text{ min}$$

$$t_{AS(e)} = \frac{L \cdot i}{n_e \cdot f} = \frac{334 \cdot 1}{154,26 \cdot 0,25} = 8,66 \text{ min}$$

$$n_e = \frac{v_{c(e)} \cdot 1000}{\pi \cdot D_o} = \frac{70,27 \cdot 1000}{\pi \cdot 145} = 154,26 \text{ ot/min}$$
(4.9)

Hodinová produktivita za maximální výrobnosti:

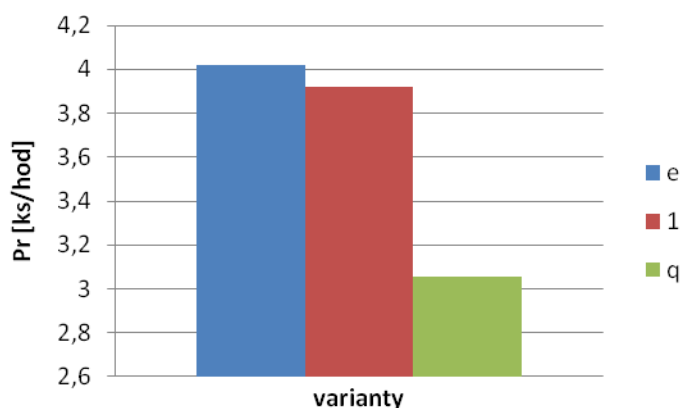
$$P_{r(q)} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{t_c}{T_q}\right)}{t_{p(q)}} = \frac{60 \cdot \left(1 - \frac{4}{8}\right)}{9,81} = 3,058 \text{ ks/hod}$$

$$t_{p(q)} = t_{AS(q)} + t_c = 5,81 + 4 = 9,81 \text{ min} \quad (4.10)$$

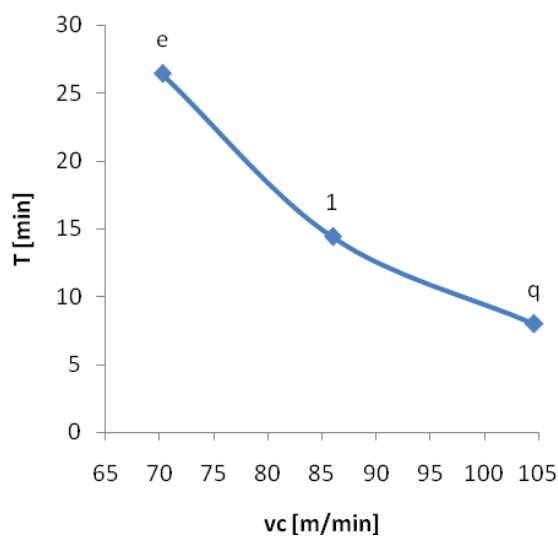
$$t_{AS(q)} = \frac{L \cdot i}{n_q \cdot f} = \frac{334 \cdot 1}{229,66 \cdot 0,25} = 5,81 \text{ min}$$

$$n_q = \frac{v_{c(q)} \cdot 1000}{\pi \cdot D_o} = \frac{104,62 \cdot 1000}{\pi \cdot 145} = 229,66 \text{ ot/min}$$

Hodinová produktivita za maximální výrobnosti je nižší z důvodů krátké trvanlivosti, nástroj musí být častokrát měněn a z důvodů těchto prostojů v podobě vedlejšího jednotkového času se snižuje hodnota hodinové produktivity. Na obrázku (obr. 4.2) jsou tyto varianty porovnány, varianta ekonomické trvanlivosti se zdá být nejvhodnější.

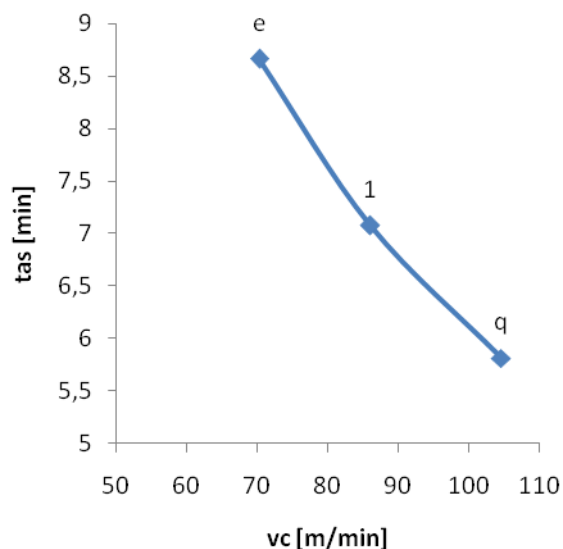


Obr. 4.2 Porovnání variant v hodinové produktivitě výroby



Obr. 4.3 Průběh závislosti trvanlivosti břítu na řezné rychlosti

Na obrázku (obr. 4.3) je znázorněna závislost trvanlivosti břítu na řezné rychlosti, kde s rostoucí řeznou rychlostí klesá trvanlivost břítu. Na obrázku (obr. 4.4) je závislost řezné rychlosti na strojním čase, kde s rostoucí řeznou rychlostí klesá čas potřebný na zpracování součásti, tedy strojní čas.



Obr. 4.4 Průběh závislosti řezné rychlosti na strojním čase

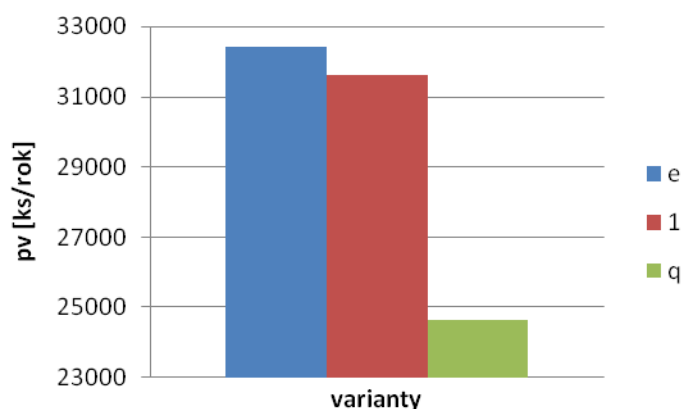
Ekonomická trvanlivost má nejnižší hodnotu řezné rychlosti z porovnávaných variant a tedy má logicky nejdelší trvanlivost břítu a dobu obrábění součásti, strojní čas.

4.3 Výrobnost, spotřeba a náklady na pořízení nástrojů

Variantou ekonomické trvanlivosti je během roku vyrobeno nejvíce součástí, přitom se spotřebuje nejméně břitů nástroje a náklady na tyto nástroje jsou nejnižší ze všech zvolených variant.

Počet vyrobených kusů za rok:

$$\begin{aligned}
 pv_{(i)} &= P_{r(i)} \cdot 24 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 12 = P_{r(i)} \cdot 8064 = 3,921 \cdot 8064 = 31618 \text{ ks / rok} \\
 pv_{(e)} &= P_{r(e)} \cdot 8064 = 4,021 \cdot 8064 = 32425 \text{ ks / rok} \\
 pv_{(q)} &= P_{r(q)} \cdot 8064 = 3,058 \cdot 8064 = 24659 \text{ ks / rok}
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$



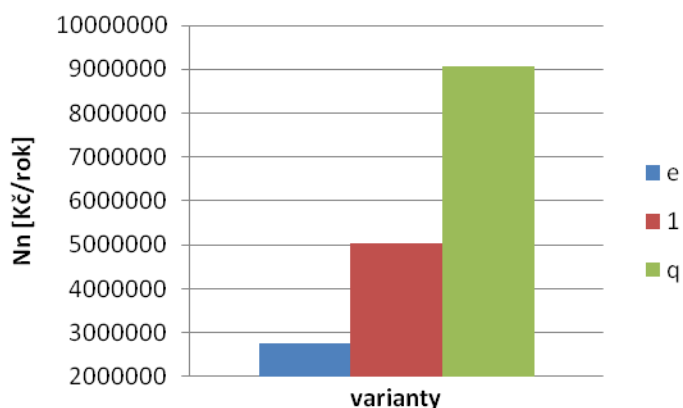
Obr. 4.5 Porovnání variant v počtu vyrobených kusů za rok

Počet spotřeby břitů za rok:

$$\begin{aligned}
 ps_{(i)} &= \frac{60}{T_1} \cdot 8064 = \frac{60}{14,4} \cdot 8064 = 33547 \text{ ks / rok} \\
 ps_{(e)} &= \frac{60}{T_e} \cdot 8064 = \frac{60}{26,4} \cdot 8064 = 18306 \text{ ks / rok} \\
 ps_{(q)} &= \frac{60}{T_q} \cdot 8064 = \frac{60}{8} \cdot 8064 = 60480 \text{ ks / rok}
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

Náklady na nástroje za rok:

$$\begin{aligned}
 Nn_{(i)} &= ps_{(i)} \cdot C_t = 33547 \cdot 150 = 5032050 \text{ Kč / rok} \\
 Nn_{(e)} &= ps_{(e)} \cdot C_t = 18306 \cdot 150 = 2745900 \text{ Kč / rok} \\
 Nn_{(q)} &= ps_{(q)} \cdot C_t = 60480 \cdot 150 = 9072000 \text{ Kč / rok}
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$



Obr. 4.6 Porovnání variant v nákladech na nástroje za rok

4.4 Náklady na provoz

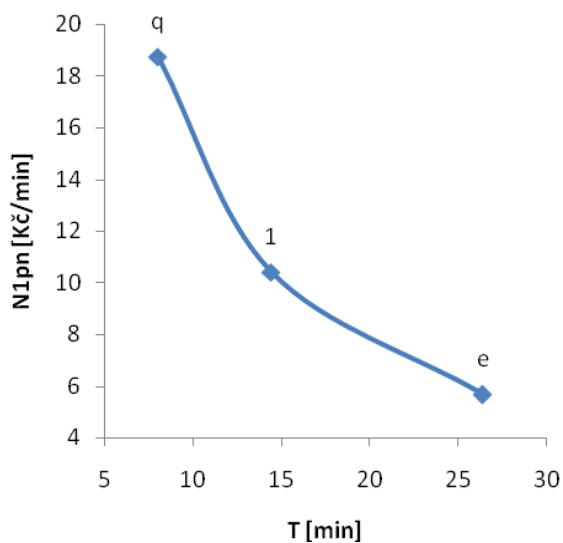
Dalšími hodnotícími faktory budou náklady na 1minutu provozu nástroje a náklady na 1cm^3 odebraného materiálu.

Náklady na 1min provozu nástroje:

$$N_{1pn(1)} = \frac{C_{pn}}{T_1} = \frac{150}{14,4} = 10,42\text{Kč} / \text{min}$$

$$N_{1pn(e)} = \frac{C_{pn}}{T_e} = \frac{150}{26,4} = 5,68\text{Kč} / \text{min} \quad (4.14)$$

$$N_{1pn(q)} = \frac{C_{pn}}{T_q} = \frac{150}{8} = 18,75\text{Kč} / \text{min}$$



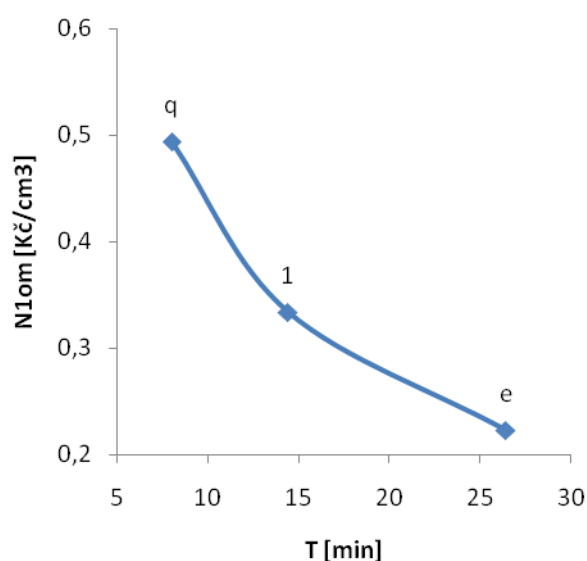
Obr. 4.7 Náklady na 1min provozu nástroje ve vztahu k jeho trvanlivosti

Náklady na 1cm^3 odebraného materiálu:

$$N_{1om(1)} = \frac{C_{pn} \cdot t_{AS(1)}}{T_1 \cdot V_t} = \frac{150 \cdot 7,076}{14,4 \cdot 220,4} = 0,334 \text{Kč} / \text{cm}^3$$

$$N_{1om(e)} = \frac{C_{pn} \cdot t_{AS(e)}}{T_e \cdot V_t} = \frac{150 \cdot 8,66}{26,4 \cdot 220,4} = 0,223 \text{Kč} / \text{cm}^3 \quad (4.15)$$

$$N_{1om(q)} = \frac{C_{pn} \cdot t_{AS(q)}}{T_q \cdot V_t} = \frac{150 \cdot 5,81}{8 \cdot 220,4} = 0,494 \text{Kč} / \text{cm}^3$$



Obr. 4.8 Náklady na 1cm^3 odebraného materiálu ve vztahu k jeho trvanlivosti

Nejlevnější náklady jsou vždy u varianty ekonomické trvanlivosti, jak je vidět na obou grafech (obr. 4.7 a 4.8).

V podniku, kde se původně vyráběla součást pomocí zadaných údajů (tab. 4.1), byly navrženy další dvě varianty výroby. Ekonomická trvanlivost a maximální produktivita. V tomto případě, je třeba snížit náklady na výrobu 1 kusu na minimum a jak tedy dokládají propočty, nejvhodnější variantou bude ekonomická trvanlivost. Oproti předchozí variantě zde dochází ke značným úsporám finančním i časovým a zefektivnění výroby součásti.

ZÁVĚR

V této diplomové práci na téma Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje, jsou popsány a definovány všechny základní důležité parametry. Je tedy třeba volit správný nástroj při výrobě součástí. Z technologického hlediska se jedná o správnou volbu a dodržení řezných podmínek. Pokud tyto hodnoty nejsou vhodně zvoleny, dochází sice ke zkrácení doby obrábění a pocit toho, že je vše v pořádku díky krátké době výroby součástí. Ovšem nástroj se začne velice rychle opotřebovávat a jeho životnost bude rapidně klesat. Tím bude zapotřebí častěji vypínat stroj z důvodu výměny nástroje a v konečném důsledku se čas potřebný na výrobu jednoho kusu prodlouží. Náklady na obrábění, pořízení nástrojů a náklady na výrobu jedné součásti stoupnou. Pokud jsou tedy vhodně zvoleny technologické parametry při výrobě, dochází k tomu, že sice čas potřebný na výrobu jednoho kusu není nejlepší hodnotou, ale v konečném důsledku se projeví jako neoptimálnější varianta. Dochází k nalezení vhodného poměru mezi rychlostí výroby a ekonomickou stránkou věci. Optimální řezná rychlost, otáčky, vhodná hodinová produktivita, nízké náklady na provoz nástroj a náklady na jeho pořízení. To vše lze získat na základě uvedeného výpočtu v posledním bodě analýzy dosahovaných technologických a ekonomických parametrů řezného nástroje. Vývoj v oblasti hospodárnosti obrábění řeznými nástroji, je již dnes neodmyslitelnou součástí plánování a řízení každého podniku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttign - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
2. FOREJT, M. – PÍŠKA, M.: Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. KOČMAN, K. – PROKOP, J.: Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
4. KRÍŽ, R. – VÁVRA, P.: Strojnická příručka 7.svazek. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
5. MORÁVEK, O. – BABOROVSKÝ, V.: Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1972. 508 s. DT 669.14.018.25
6. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vydání. Brno: CCB spol. s r.o., 1995. 265 s. ISBN 80- 85825-10-4.
7. PROKOP, J. Aplikovaná teorie obrábění – Přednášky. Akademický rok 2008/2009.
8. MORÁVEK, O. a BABOROVSKÝ, V. Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1972. 505 s., DT 669.14.018.25
9. Soustružení. [online]. [cit. 2009-2-10]. URL:< <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep17.pdf>>.
10. Technologie strojního obrábění. [online]. [cit. 2009-2-15]. URL:<http://www.sniper.webzdarma.cz/download/others/tech_str_obr.pdf>
11. Soustružen1.doc [online]. [cit. 2009-2-15]. URL:< <http://www.zapisy2kl.ic.cz/>>
12. Frézování.doc [online]. [cit. 2009-2-15]. URL:< <http://www.zapisy2kl.ic.cz/>>
13. Vrtání.doc [online]. [cit. 2009-2-15]. URL:< <http://www.zapisy2kl.ic.cz/>>
14. Základy strojírenské technologie II. [online]. [cit. 2009-2-22]. URL:< http://www.jananovakova.net/wp-content/uploads/Zaklady_strojirenske_tehnologiell.pdf>
15. Skripta strojírenské technologie II. 1.díl [online]. [cit. 2009-2-25]. URL:< http://www.jananovakova.net/wp-content/uploads/skripta_Technologie_II_1dil.pdf>
16. Skripta strojírenské technologie II. 1.díl [online]. [cit. 2009-3-7]. URL:< [http://www.wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/files/verejny/MVD/Strnadel%20-%20Teorie%20materialoveho%20inzenyrstvi%20+%20nomogramy%20\(CZ\)/09%20-%20Treni%20a%20opotrebeni%20funkcnich%20povrchu.doc](http://www.wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/files/verejny/MVD/Strnadel%20-%20Teorie%20materialoveho%20inzenyrstvi%20+%20nomogramy%20(CZ)/09%20-%20Treni%20a%20opotrebeni%20funkcnich%20povrchu.doc)>

17. Nástroje a stroje TGS [online]. [cit. 2009-3-20].
URL:< <http://www.tgs.cz/cs/download/dandrea-trc-cj.pdf>>
18. KOCMAN, K.: Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2004. 228 s.
ISBN 80-214-2562-8.
19. ZEMČÍK, O.: Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2002. 158 s.
ISBN 80-214-2219-X.
20. BEŇO, J.: Teória rezava kovov. Strojnícká fakulta TU Košice – edícia: Monografie. Tisk: Viena, vydavateľstvo a tlačiareň Košice, 1999, 255 s.
ISBN 80-7099-429-0.
21. JANÁČ, A., LIPA Z., PETERKA, J.: Teória obrábania. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. 198 s.
ISBN 80-227-2347-9.
22. Náklady a jejich členění [online]. [cit. 2009-4-27].
URL:< http://web.ft.utb.cz/cs/docs/PE5_-_Naklady,_bod_zvratu.pdf>
23. Jak ovlivnit kvalitu, životnost a cenu obráběcích nástrojů? [online]. [cit. 2009-5-7].
URL:< http://technik.ihned.cz/2-35586220-800000_d-69>
24. Tool management - optimální využití moderních řezných nástrojů. [online]. [cit. 2009-5-8].
URL:< <http://www.mmspektrum.com/clanek/tool-management-optimalni-vyuziti-modernich-reznych-nastroju>>
25. Výsledky čínského průmyslu. [online]. [cit. 2009-5-11].
URL:< <http://www.sst.cz/aktualne/marketing/12>>
26. VASILKO, K. Analytická telia tryskového obrábania. Prvé vydanie. Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, 2007. 338 s.
ISBN 978-80-8073-759-7.
27. Garant, Příručka pro obrábění. [online]. [cit. 2009-2-19].
URL:< <http://www.hoffmann-group.com/download/cz/zerspanungshandbuch/cz-zerspanungshandbuch.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
P_r	[-]	nástrojová základní rovina
P_f	[-]	nástrojová boční rovina
P_p	[-]	nástrojová základní rovina
P_s	[-]	nástrojová rovina ostří
P_n	[-]	nástrojová normální rovina ostří
P_o	[-]	nástrojová ortogonální rovina
P_g	[-]	nástrojová rovina největšího spádu čela
P_b	[-]	nástrojová rovina největšího spádu hřbetu
α	[°]	úhel hřbetu
α_n	[°]	vedlejší úhel čela
γ_o	[°]	ortogonální úhel čela
λ	[°]	úhel sklonu b řitu
κ	[rok]	úhel nastavení hlavního ostří
λ_s	[Kč]	úhel sklonu ostří
VB	[Kč]	průměrné opotřebení hřbetu
VB_C	[Kč/rok]	opotřebení hřbetu v oblasti špičky
VB_N	[Kč/rok]	vrubové opotřebení hřbetu
VB_{max}	[Kč/rok]	maximální opotřebení hřbetu
KT	[-]	hloubka žlábků opotřebení čela
KB	[-]	šířka žlábků opotřebení čela
KM	[rok]	poloha středu žlábků opotřebení čela
VR	[-]	radiální opotřebení špičky
v_c	[m/min]	řezná rychlost
T_B	[min]	životnost jednoho břitu
t_{A1}	[min]	čas jednotkové práce
t_{A11}	[min]	čas jednotkové práce za klidu
t_{A12}	[min]	čas jednotkové práce za chodu
t_{A13}	[min]	čas jednotkové práce strojně ruční
t_{Ax}	[min]	součet všech časů nepravidelné obsluhy za směnu
t_{As}	[min]	jednotkový čas strojní
T_{Ax}	[%]	normativní hodnota času z výkonových norem
L	[mm]	délka
i	[-]	počet záběrů
n	[ot./min]	otáčky

f	[mm/ot.]	posuv
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
κ	[°]	úhel nastavení nože
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
D_1	[mm]	maximální průměr
D_2	[mm]	minimální průměr
N_{sp}	[ks]	norma spotřeby náradí
t_{pn}	[min]	čas práce nástroje
\dot{Z}	[hod]	životnost nástroje
q	[ks]	plánovaný počet vyráběných součástí
k_{nz}	[-]	koeficient nahodilých ztrát, 1.05-1.5
N_C	[Kč]	celkové náklady
N_j	[Kč/ks]	náklady na jednotku výroby
T_e	[min]	ekonomická trvanlivost břitů nástroje
Q	[ks]	počet kusů
α	[-]	exponent závislosti řezná rychlost/čas
C_t	[Kč]	náklady na nástroj
C_m	[Kč/min]	strojní, mzdové a ostatní náklady
t_c	[min]	doba na výměnu nástroje
T_q	[min]	trvanlivost za maximální produktivity
P_r	[Kč/hod]	počet obrobků zhotovených za hodinu
t_p	[min]	celková doba obrábění jednoho obrobku
ROI	[roky]	návratnost investic
S	[Kč/rok]	úspora za rok
M_c	[rok]	amortizace
I	[Kč]	vstupní investice
N_{1pn}	[Kč/min]	náklady na 1min provozu nástroje
C_{pn}	[Kč]	cena pořízení nástroje
C_m	[Kč/min]	strojní, mzdové a ostatní náklady
T	[min]	trvanlivost nástroje
n	[-]	počet břitů na nástroji
N_o	[Kč]	náklady na ostření
N_{nm}	[Kč]	náklady na jedno nasazení nástroje
M	[Kč/hod]	mzda pracovníka

t_v	[min]	čas potrebný na výměnu nástroje
Z_v	[Kč]	zisk na 1ks výrobku
N_{lom}	[Kč/cm ³]	náklady na 1cm ³ odebraného materiálu
V_t	[cm ³]	odebraný objem třísky

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Program v Excelu na výpočet analýzy dosahovaných technologických a ekonomických parametrů rezného nástroje s příslušnými grafy.

Příloha 1

viz. přiložené CD k diplomové práci