

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření obrábění a montáže

D A T A B A N K A Ř P - V R O T Á N Í

625

KOM - OM -

P e t r M a l í k

Vedoucí práce: Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc (VŠST Liberec)

Počet stran:	.....	61
Počet příloh a tabulek:	.....	7
Počet obrázků:	.....	3
Počet výkresů:	.....	0
Počet modelů a jiných příloh:	.....	1

Datum: 30.5.1989

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

D A T A B A N K A Ř P - V R T Á N Í

625
KOM - OM - XXXX

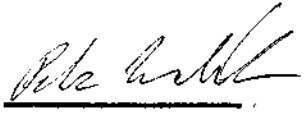
P e t r M a l í k

Vedoucí práce: Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc (VŠST Liberec)

Počet stran:	.....	61
Počet příloh a tabulek:	.....	7
Počet obrázků:	.....	3
Počet výkresů:	.....	0
Počet modelů a jiných příloh:	.....	1

Datum: 30.5.1989

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury".

Podpis: 

V Liberci dne: 30. květen 1989

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro M e l í k P e t ř
obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorozních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Databanka řezných podmínek - vrtání

Zásady pro vypracování:

1. Studium metodiky určování řezných podmínek pro vrtání .
2. Optimalizace řezných podmínek při vrtání
3. Stanovení metodiky optimalizace a vstupních dat .
Program a jeho ověření.
4. Sběr dat.
5. Zhodnocení a závěry.

V 269/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Komlom

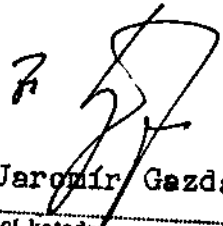
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu + přílohy
Seznam odborné literatury:

Mádl, J. : Optimalizace řezných podmínek v teorii
obrábění. ČVUT Praha, 1988
Degner, W. - Lutze, H. - Smejkal, E. : Spanende formunh
VEB VT Berlin 1965
Normativy řezných podmínek pro vrtání
Přikryl, Z. - Musílková, R. : Teorie obrábění .SNTL/ALFA 1982

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc

Datum zadání diplomové práce: 30.9.1988
Termín odevzdání diplomové práce: 2.6.1989




Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc
Děkan

v Liberci dne 30.9.1988 10

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury".

Podpis: 

V Liberci dne: 30. květen 1989

Obsah:

Seznam použitých symbolů	.....	4
1. Úvod	.....	8
2. Současný stav v oblasti databank		10
ve vyspělých státech	.....	10
2.1. Informační střediska pro obrábění		
v zahraničí	.....	11
2.1.1. Japonsko	.....	11
2.1.2. USA	.....	11
2.1.3. Velká Británie	.....	11
2.1.4. NSR	.....	12
2.1.5. NDR	.....	13
3. Studium metodiky určování řezných		
podmínek pro vrtání	.....	13
3.1. Obrobitelnost	.....	13
3.2. Řezivost	.....	16
3.3. Šroubovitě vrtáky	.....	18
4. Optimalizace řezných podmínek	.....	22
4.1. Charakteristika optimalizace		
řezných podmínek	.....	22
4.2. Konvenční optimalizace při práci		
jedním nástrojem	.....	29
4.2.1. Kritéria optimálnosti	.....	29
4.2.2. Omezující podmínky	.....	36
4.2.3. Algoritmus pro výpočet optimalizace		
řezných podmínek pro technologii		
vrtání a vlastní program	.....	46

4.2.4.	Program optimalizace řezných podmínek pro vrtání	.....	49
5.	Tvorba databanky řezných podmínek pro vrtání	.....	52
5.1.	Nutnost technologické databanky	.....	52
5.2.	Struktura databanky	.....	53
5.3.	Sběr dat	.....	56
6.	Zhodnocení a závěr	.....	57
	Seznam příloh	.....	60
	Použitá literatura	.....	61

S e z n a m p o u ž í t ý c h s y m b o l ů

Symbol		Význam
v textu	v programu	
α	-	konstanta
μ_s	-	úhel stoupání šroubovice
η_s	-	koeficient časového využití stroje
η	- UC	mechanická účinnost stroje
σ_{pk}	-	napětí v tahu
σ_p	- SIGD	dovolené napětí v krutu
$c_T, c_V,$ m, x_V, y_V	- CV, M, XV, YV	konstanty
C_s	-	cena stroje
C_E	-	cena za elektrickou energii
C_n	-	cena nástroje
C_{zn}	-	zbytková cena nástroje
$c_M, c_{Fc},$ c_{Pf}	- CM, CFZ, CFX	konstanty
D	- D	vrtaný průměr
D_1	- D1	předvrtaný průměr
E	- E	modul pružnosti
F_c	- FC	složka hlavní řezné síly
F_f	-	osová síla
F_{fkrit}	- FXKRIT	kritická osová síla
$F_{\check{c}}$	-	časový fond stroje
H	- H	šířka třísky
J_{red}	- JRED	redukovaný moment setrvačnosti průřezu
J	- J	počet otáčekových stupňů

i	-	-	index oborbitelnosti
k_c	-	-	přirážka směnového času
K_o	-	KO	koeficient
K_s	-	KS	měrný řezný odpor
K_{s1}	-	KS1	specifický měrný řezný odpor při tloušťce třísky 1 mm
K_{ver}, f_B	-	KVER, FB	koeficienty
K_1, K_2	-	K1, K2	konstanty
$k_{Mk}, k_{xk},$			
k_{kv}	-	KMK, KXK, KKV	koeficienty
k_B	-	KB	bezpečnost
L	-	L	vrtaná délka
L_o	-	LV	vzpěrná délka vrtáku
MR	-	MR	řezný moment
M_{lim}	-	MLIM	limitní řezný moment
M	-	MK	krouťící moment
M_{kkrit}	-	MKRIT	kritický krouťící moment
M_o	-	-	mzda operátora
M_{os}	-	-	mzda ostříče
M_s	-	-	mzda seřizovače
N_{sn}	-	-	náklady na strojní práci včetně nákladů na nástroje
N_{vn}	-	NVN	náklady na výměnu opotře- beného nástroje
N_{sm}	-	NSM	náklady na strojní práci vztažené na 1 min
N_s	-	-	náklady na strojní práci

N_{ns}	-	-	náklady na provoz stroje
N_n	-	-	náklady na nástroj
N_{nT}	-	NNT	náklady na nástroj vztažené na 1 trvanlivost
n	-	N	otáčky vřetene
n_{smax}	-	NMAX	maximální otáčky vřetene
n_{smin}	-	NMIN	minimální otáčky vřetene
O_s	-	-	odpis stroje
k_{us}	-	-	koeficient oprav a údržby stroje
$P_{řez}$	-	-	řezný výkon
$P_{e_{už}}$	-	-	užitečný výkon hlavního elektromotoru stroje
P_e	-	PE	výkon hlavního elektromotoru stroje
p_{MF}	-	PMF	poměrná hodnota
-	-	Q	koeficient
s_m	-	-	směnnost
s	-	S	posuv
$s_{smax},$			
s_{smin}	-	SSMAX,SSMIN	maximální a minimální posuv na stroji dosažitelný
$s_{max},$			
s_{min}	-	SMAX,SMIN	maximální a minimální posuv
T	-	T	trvanlivost
t_s	-	TS	strojní čas
τ	-	TAU	poměrná hodnota

t_{os}	-	-	čas ostření nástroje
t_{vn}	-	TVN	čas na výměnu nástroje
v	-	V	řezná rychlost
v_T	-	-	řezná rychlost při trvanlivosti T
v_{Te}	-	-	řezná rychlost při trvanlivosti T - etalonová
VN_u	-	VN	výrobní náklady na uvažovaný operační úsek
VR_d	-	-	výrobní režie dílny
VR_{os}	-	-	výrobní režie ostřírny
W_k	-	WK	modul průřezu v krutu
z_v	-	-	počet výměn nástroje
z_s	-	-	životnost stroje
z_o	-	-	počet přeastření nástroje
x_{Fc}, y_{Fc}			
x_{Ff}, y_{Ff}	-	XFZ, YFZ, XFX, YFX	konstanty

1. Úvod

Strojírenství je jedním z vedoucích odvětví průmyslu, zabezpečujícím naše národní hospodářství novou technikou. Od technického pokroku ve strojírenství a odpovídající kvality vyráběných konstrukcí, dokonalosti technologie výroby závisí v konečném souhrnu efektivnost společenské výroby a produktivita práce.

Směrnice posledních sjezdů KSČ pro hospodářský a sociální rozvoj ČSSR ukládají neustálý růst strojírenské výroby, přičemž se v současných závodech mají vytvořit takové předpoklady, aby další vzestup strojírenské výroby v zásadě nevyžadoval zvýšení současného počtu pracovníků.

Analýzy prognóz rozvoje našeho strojírenství ukazují, že v následujících letech je možné očekávat růst složitosti strojírenských výrobků včetně frekvence zavádění nových výrobků do výroby. Aplikace stále většího počtu moderních výrobních zařízení ve výrobě (zejména NC a CNS techniky) bude příčinou kvalitativních změn se zřetelem na formy a podrobnost výrobních podkladů. Uvedené skutečnosti budou mít za následek i aplikaci nových metod plánování a řízení výroby, které budou vyžadovat podstatné zkvalitnění technickoekonomických údajů vytvářených v předvýrobní fázi strojírenských výrobních procesů.

Technický systém, který umožňuje shromažďovat velké množství systematicky uspořádaných informací je

konstrukčně - technologická banka dat. Jednotlivé informace z této banky dat se mohou ve své podobě libovolně spojovat podle různých hledisek, jejich kombinace se může volit libovolně a jsou neustále k dispozici za předpokladu propojení banky dat s periferiemi výpočetních středisek strojírenských podniků.

Výsledkem této práce by měla být mimo jiné technologická databanka řezných podmínek mající k dispozici doporučené řezné podmínky pro vrtání.

Úkolem této práce je také zpracování programu vrtání šroubovitými vrtáky z rychlořezné oceli. Úkoly na optimalizaci procesu obrábění nabývají stále většího významu z hlediska potřeby lepšího využití strojního zařízení ve výrobních podnicích. Vývoj za poslední období je spojen hlavně s rozvojem výpočetní techniky. Výpočetní technika v rukou technologa je nejen nástrojem, který mu dodává kvalitní exaktní informace, potřebné k rozhodování, ale vytváří velké možnosti pro jeho tvořivou činnost i v podmínkách současné expanze informací, kterých zpracování klasickými formami není možné.

2. Současný stav v oblasti databank ve vyspělých státech

Informační střediska pro obrábění mají obvykle celostátní působnost a úzce spolupracují s velkými výrobními podniky, vysokými školami a výzkumnými ústavy, od nichž též získávají část informací. Mezi činnostmi vykonávané nebo řízené informačními středisky patří:

1. Zjišťování charakteristických vlastností (z hlediska obrábění) u hospodářsky důležitých kombinací obráběných materiálů.
2. Zjišťování úrovně řezných podmínek použitých ve výrobě.
3. Vypracování metodiky zkoušek obrobitelnosti, řezivosti a poskytování podkladů pro děláni těchto zkoušek.
4. Vypracování normativů řezných podmínek.
5. Stanovení optimálních řezných podmínek pro konkrétní případy.
6. Sdělování doporučených řezných podmínek pro konkrétní případy.
7. Poskytování výpočetních programů pro optimalizaci řezných podmínek.

2.1. Informační střediska pro obrábění v zahraničí /6/

2.1.1. Japonsko

Středisko údajů o obrábění (Machining Data Center) provádí následující činnosti:

- sběr a poskytování informací o skutečných řezných podmínkách
- doporučování optimálních řezných podmínek pro konkrétní technologii a poskytování dalších údajů o obrábění
- vypracování programů pro optimalizaci řezných podmínek
- standardizace zkušebních metod pro posouzení obráběných materiálů, nástrojů a obráběcích strojů
- konzultace v otázkách týkajících se obrábění.

2.1.2. Spojené státy

V USA pracuje středisko údajů o obrobitelnosti (Machinability Data Center), které zaměřuje svojí činnost především na shromažďování údajů o obrábění, vydávání příruček řezných podmínek a na zodpovídání dotazů. Zdrojem informací jsou speciální experimenty, pozorování na závodech, technická literatura, inženýrsko-expertní odhady. Dokumenty jsou uloženy v paměti počítače.

2.1.3. Velká Británie

Technologický institut (PERA) počátkem 70. let

vytvořil databanku řezných podmínek, která se stala základem činnosti služby v oblasti sběru, ukládání a poskytování informací o řezných podmínkách.

Zdrojem byly výzkumné práce, zkušenosti z výroby, doporučení výrobců řezných nástrojů, normy a technická literatura. Vzhledem k různosti kritérií efektivnosti operací a řezných podmínek bylo rozhodnuto zavést do paměti počítače všechny možné řezné podmínky. Řezné podmínky jsou zaznamenány na magnetofonové pásce a obsahují:

- druh operace
- údaje o obrobku (materiál, tvar, atd.)
- údaje o nástroji (typ, materiál, geometrie, rozměry)
- údaje o stroji (typ, výkon)
- údaje o řezných podmínkách
- údaje o chladících kapalinách
- kritéria efektivnosti obrábění (náklady na nástroj, přesnost, drsnost povrchu).

2.1.4. NSR

V NSR bylo počátkem 70. let vybudováno Informační středisko pro obrábění (INFOS) s úkolem:

- získávat a shromažďovat informace
- zpracovávat je a archivovat
- předávat informace.

2.1.5. NDR

Hlavním úkolem Informačního střediska pro obrábění (SWS) je poskytovat:

- hodnoty řezných podmínek pro jednotlivé druhy obrábění ve formě katalogů
- údaje o obrábění (řezné podmínky) přihlížející k opotřebení a výkonu ve formě tabulek
- optimalizace řezných podmínek představující informace nejvyšší úrovně.

Základem SWS je počítačový systém:

- a) systém komunikačních programů
- b) systém zpracovatelských programů a kartoték.

3. Studium metodiky určování řezných podmínek pro vrtání /2/

3.1. Obrobitelnost

Obrobitelností nazýváme souhrn vlastností materiálu, určujících jeho vhodnost k produktivnímu obrábění. Nelze ji charakterizovat jediným ukazatelem. Zahrnuje totiž v sobě různé technologické vlastnosti, které ovlivňují intenzitu opotřebení nástroje, drsnost povrchu, velikost řezných sil, tvar odcházející třísky atd. Obrobitelnost materiálu je ovlivněna velkým množstvím proměnných veličin, například mechanické vlastnosti materiálu, chemické složení, způsob a tepelné zpracování, mikrostruktura apod. Ale není jen vlastností samot-

ného obráběného materiálu, závisí také na řezných podmínkách, geometrii nástroje, řezném materiálu a dalších vlivech.

Obrobitelnost posuzujeme obvykle:

- z hlediska vlivu materiálu na intenzitu otěru, tedy na velikost v_T , tzv. obrobitelnost podle řezné rychlosti (kinetická obrobitelnost)
- z hlediska vlivů materiálu na velikost řezného odporu (dynamická obrobitelnost)
- z hlediska jakosti vytvářeného povrchu (mikrogeometrická obrobitelnost)
- z hlediska utváření třísek (při práci na automatech).

V praxi je nejvíce používáno hodnocení obrobitelnosti dle řezné rychlosti. Tímto kritériem (1) určíme velikost hospodárné řezné rychlosti a ovlivníme náklady na obrábění.

Základní vliv na obrobitelnost má tvrdost a pevnost materiálu. S jejich růstem se zhoršuje. Dále působí jednotlivé prvky jako například uhlík, mangan, chrom, vanad, křemík atd. I mikrostruktura výrazně ovlivňuje obrobitelnost, nejvýhodnější je struktura feritická.

Pro potřebu strojírenských závodů se technické materiály rozdělují z hlediska obrobitelnosti do 4 základních skupin, označených písmeny a, b, c, d.

Do těchto skupin jsou zařazeny materiály takto:

- a - šedá a temperovaná litina
- b - oceli a oceli na odlitky
- c - neželezné kovy (měď, mosaz, bronz, zinek)
- d - lehké kovy (hliník, hořčík a jejich slitiny)

Každá z těchto skupin obsahuje 20 tříd obrobiteľnosti označených čísly 1 - 20. Výsledné značení například pro ocel je 1 b - 20 b. Ve třídě 1 jsou materiály nejhůře a ve třídě 20 nejlépe obrobiteľné.

Protože není možné stanovit absolutní hodnotu obrobiteľnosti, je třeba porovnávat obrobiteľnost zkoušeného materiálu s jiným tzv. etalonovým materiálem. Pro materiály skupiny b je etalonem ocel 12050.1, která je zařazena do třídy obrobiteľnosti 14 b. Obrobiteľnost ostatních materiálů se určuje porovnáváním s etalonem pomocí koeficientu (indexu) obrobiteľnosti.

$$i = \frac{v_T}{v_{Te}} \quad (1)$$

kde v_T - řezná rychlost při trvanlivosti T
zkoušeného materiálu

v_{Te} - řezná rychlost při stejné trvanlivosti u etalonového materiálu, obroběného stejným nástrojem za zce-

la stejných řezných podmínek
i = index obrobitelnosti.

Stanovení skupin a tříd obrobitelnosti umožňuje vypracování řezných podmínek jen pro jednu základní třídu obrobitelnosti. Další jsou odvozeny násobením indexem obrobitelnosti.

Součinitel obrobitelnosti		Třída obrobitelnosti	
Rozsah	stř. hodnota	ocel	šedá litina
0,45 - 0,56	0,50	11b	8a
0,57 - 0,71	0,63	12b	9a
0,72 - 0,89	0,80	13b	10a
0,90 - 1,12	1,00	14b	11a
1,13 - 1,41	1,26	15b	12a

Tab. 4

3.2. Řezivost

Materiál břitu řezného nástroje ovlivňuje velmi výrazně velikost hospodárného úběru a tím i produktivity práce. Zcela specifické podmínky, v nichž se břit nástroje v řezu nachází, určují požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezných materiálů:

- tvrdost řezného materiálu musí být alespoň o 5 až 6 HRC vyšší než tvrdost obráběného materiálu
- tvrdost a tedy i odolnost proti opotřebení musí být dostatečně stálá i při vysokých teplotách
- vyhovující pevnost v tlaku a v ohybu

- dostatečná tepelná vodivost.

Souhrn vlastností řezného materiálu, které komplexně ovlivňují velikost hospodárného úběru, nazýváme řezivostí.

Řezivost nástroje je vázána nejen na vlastnosti materiálu břitu, ale i na technologické podmínky obrábění (průřez třísky, řezná rychlost, geometrie břitu). Nelze stanovit pro určitý řezný materiál absolutní hodnotu řezivosti, ale lze jen porovnávat řezivost dvou nebo více nástrojů za stejných podmínek a na stejném obráběném materiálu. Pro hodnocení stupně řezivosti neexistuje dosud obecně platné kritérium.

Při stanovování řezivosti nástroje za určitých konkrétních řezných podmínek se vychází z Taylorova vztahu mezi trvanlivostí nástroje a řeznou rychlostí:

$$T = \frac{C_T}{v^m} \quad [\text{min}] \quad (2)$$

nebo

$$v = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3)$$

Smluvně je řezivost nástroje charakterizována

konstantami m a c_T nebo c_V z uvedeného vztahu a řeznou rychlostí v_T . Rychlost v_T je řezná rychlost odpovídající smluvní trvanlivosti T . Tato trvanlivost se volí blízká trvanlivost T_{opt} . Například u slinutých karbidů, kde T_{opt} se pohybuje v rozmezí 5 až 20 minut volíme $T = 15 \text{ min.}$ (v_{15}).

Aby bylo možno určit řezivost nástroje, je třeba zjistit závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách. Trvanlivost je definována jako doba, po kterou může nástroj hospodárně pracovat až do otupění. Je třeba měřit otupění nástroje některou z těchto metod:

- a) měří se lineární rozměry opotřeбенých ploch řezné části nástroje
- b) určuje se objem opotřeбенého materiálu břitu
- c) určuje se hmotnost úbytku nástroje vlivem opotřeбенí.

3.3. Šroubovité vrtáky

Vrtání je jedním z nejstarších výrobních způsobů, který používal člověk již v době kamenné. Vrtání je způsob třískového obrábění, při kterém nástroj zpravidla dvoubřitý, relativním otáčivým pohybem vůči obrobku vykonává hlavní řezný pohyb a relativním pohybem ve směru osy nástroje vykonává posuv.

Z uvedeného vyplývá, že řezná rychlost se mění od středu nástroje, kde je nulová, do maxima na ob-

vodě podle vztahu:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (4)$$

D - průměr v mm

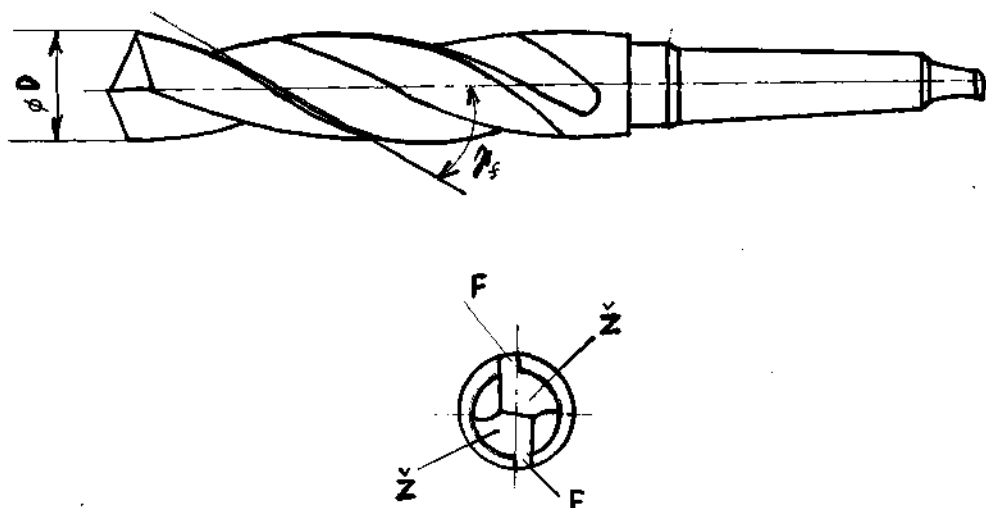
n - otáčky za minutu.

Posuv při vrtání udáváme obvykle v mm/ot nástroje. Vrtat můžeme do plného materiálu nebo rozšiřovat předvrtané, či předlité otvory, případně vrtáme "na jádro", kdy nástroj odebírá z materiálu jenom část ve formě mezikruží.

K vrtání používáme nástroje zvané vrtáky a ty dělíme podle způsobu provedení na:

- vrtáky šroubovitě
- vrtáky kopinaté
- vrtáky středící
- vrtáky dělové
- vrtací hlavice

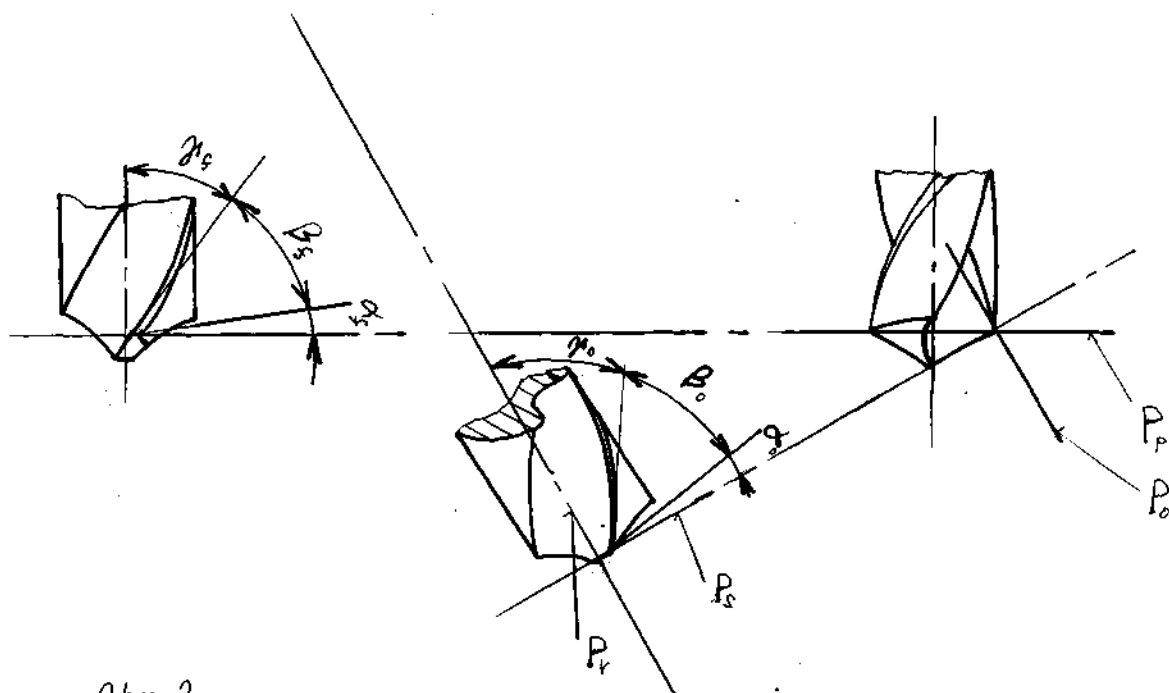
Tato práce se zabývá optimalizací řezných podmínek pro vrtání šroubovitými vrtáky z rychlořezné oceli. Šroubovitý vrták je dvoubřitý nástroj se šroubovitými drážkami pro odchod třísek.



Jmenovitý průměr vrtáku D je rozměr válcové části omezené fazetkami F , (měříme u hrotu). Tento průměr se směrem ke stopce nepatrně zmenšuje a vzniká tak určitá kuželovitost vrtáku. Tělo vrtáku je opatřeno šroubovitými žlábkami - drážkami a tím vznikají mezi drážkami části těla tzv. žebra $Ž$, spojená jádrem. Tloušťka jádra d se měří opět na počátku hrotu. Žebra jsou opatřena na okraji drážky fazetkou, která má válcovitý tvar a vede vrták ve vrtané díře. Stoupání šroubovice drážek se volí podle druhu materiálu. Úhel, který svírá tečna vedená k hraně žebra s osou vrtáku v průmětu do roviny

proložené osou vrtáku, označujeme jako úhel sklonu šroubovice a je vlastně nástrojový úhel čela γ_f .

Řeznou část vrtáku tvoří hlavní ostří, jsou to průsečnice povrchu drážky s hřbetem na hrotu vrtáku a příčné ostří, které tvoří průsečnice hřbetů hlavních břitů jako spojnice obou hlavních ostří.



Obr. 2

Šroubovité vrtáky můžeme rozdělit:

- a) podle tvaru stopky - s válcovou stopkou
- s kuželovou stopkou

(vrtáky do dřeva pro ruční vrtání mají stopku ve tvaru čtyřbokého komolého jehlanu, která se upíná do vrtací kliky)

- b) podle sklonu šroubovice - s povlovnou šroubovicí $\gamma_f = 45^\circ$
- se střední šroubovi-

$\alpha_{\frac{1}{2}} = 25^\circ$

- se strmou šroubovi-

$\alpha_{\frac{1}{2}} = 12^\circ$

c) podle délky - krátké

- dlouhé

d) podle smyslu otáčení - pravotočivé, jež se otáčí při práci ve směru pohybu hodinových ručiček, při pohledu směrem od stopky
- levořezné.

4. Optimalizace řezných podmínek /1/

4.1. Charakteristika optimalizace řezných podmínek

Významnou součástí technické přípravy výroby je určování optimálních řezných podmínek, optimální trvanlivost nástrojů, eventuálně optimálních hodnot dalších pracovních podmínek.

Význam určování optimálních pracovních podmínek v poslední době rychle vzrostl, a to zejména v důsledku relativně rychlého rozvoje výrobní techniky, především v důsledku:

- nasazení NC strojů do výroby
- nasazení NC strojů do výrobních systémů
- použití moderních řezných nástrojů
- nasazení manipulátorů a robotů ve výrobě
- možnosti využití počítačů pro řízení práce jednotlivých strojů i výrobních systémů

- energetické náročnosti moderních obráběcích strojů i dalších výrobních zařízení
- nutnosti zajistit spolehlivost obrábění z hlediska vhodného utváření třísky
- nutnost zajistit spolehlivost obrábění z hlediska obrobitelnosti obráběného materiálu a řezivosti řezného nástroje.

Význam optimalizace řezných podmínek a trvanlivosti nástrojů roste zároveň s rostoucími požadavky na komplexní optimalizaci pracovních podmínek, zejména s vazbou na optimalizaci geometrie a materiálů nástrojů, výměnu nástrojů při nasazení více nástrojů při práci současně, takt u linek, hospodaření s náradím, lhůtové plánování apod. Tyto optimalizační vazby jsou velmi složité a lze je uspokojivě řešit pouze na počítači při použití vhodných optimalizačních algoritmů. Při optimalizaci více pracovních parametrů však v současnosti jde převážně o optimalizaci dílčího zaměření, bez vazby na další faktory ovlivňující komplexně optimalizaci technologie jako celku, respektivě jde o optimalizaci značně zjednodušenou.

Optimalizace řezných podmínek úzce souvisí s ekonomickou, kvantitativní, respektivě kvalitativní stránkou výroby, a ovlivňuje tak cenu jednotlivých součástí, a tedy i výrobku. V praxi často

vžité představy o optimalizaci řezných podmínek nejsou pro řadu případů obrábění zcela správné. Tyto zásady (běžně vžité pro optimalizaci řezných podmínek u univerzálních strojů) nemohou dnes vystačit pro optimalizaci řezných podmínek u výrobního zařízení s vysokým stupněm automatizace.

Jedním ze základních důvodů pro to jsou vysoké náklady na hodinu práce na stroji, které se vzrůstající cenou stroje, rostoucí režií dílny apod. rostou mnohonásobně ve srovnání s hodinovými náklady na práci na univerzálních strojích. Již z tohoto hlediska je vyvozován vysoký tlak na snížení hodnoty optimálních trvanlivostí při práci na strojích s vysokým stupněm automatizace. Protože je snaha snižovat strojní čas z důvodů vysokých nákladů na hodinu práce na stroji, taktu na linkách, tím že se zvyšují řezné podmínky.

I když ceny obráběcích strojů vybavených složitou elektronikou mají v současnosti v celosvětovém měřítku tendenci se snižovat (cena elektronických prvků klesá), nelze zatím této tendenci z hlediska optimalizace řezných podmínek přikládat větší význam.

Významné pro optimální hodnoty řezných podmínek je též nasazování nových řezných materiálů, jako jsou například keramické materiály, kubický nitrid boru apod. Tyto řezné materiály dovolují možnost

použití vysokých řezných rychlostí, které však často není možné realizovat na strojích s běžně používaným rozsahem otáček a s obvyklými výkony obráběcích strojů. Tato okolnost zpětně působí na optimální hodnotu trvanlivosti a optimální hodnoty řezných podmínek.

Optimalizaci řezných podmínek u technologií, kdy nástroj je trvale v záběru a dělník není přítomen u stroje po celou dobu technologického cyklu, velmi významně ovlivňuje vhodné utváření třísky (lámavost). Vhodné utváření třísky zaručí, že se nedostane zpět pod břit a nezpůsobí jeho destrukci, respektivě že neznemožní automatickou výměnu nástrojů, pokud třísky obalí nástroj nebo jeho držák.

Optimalizaci řezných podmínek ovlivňuje též rozptyl obrobiteľnosti obráběného materiálu i řezivosti nástroje. Všeobecně lze charakterizovat obrábění na všech strojích, kdy alespoň určitá část obráběcího procesu probíhá bez dozoru obsluhy, jako technologický proces, který musí mít zajištěnou spolehlivost z hlediska použitých řezných podmínek.

Jak rozptyl obrobiteľnosti, tak rozptyl řezivosti nutí technology k tomu, aby určovali řezné podmínky pro nejhorší možné případy obrobiteľnosti a řezivosti. Důsledkem toho je, že řezné podmínky na automatizovaných strojích často nedosahují ani hodnot, kterých se používá na univerzálních strojích,

kdy obsluha neustále sleduje chod stroje a v případě poruchy má možnost stroj ihned zastavit.

Se zřetelem na to mohou být z tohoto hlediska u strojů s vysokým stupněm automatizace vyšší výrobní náklady než u strojů univerzálních. Naskytá se tedy otázka, jak toto v praxi řešit. Jednou z cest je snížení rozptylu obrobitelnosti obráběného materiálu, respektive rozptylu řezivosti u řezných nástrojů. Toto je však úkol dlouhodobý a nesnadný a není ani náplní této práce.

Pro současné podmínky se zdá nejschůdnější cestou korigování některých podkladů pro optimalizaci řezných podmínek v závislosti na konkrétních výchozích podmínkách obrábění všude tam, kde je to možné. Například je možné na základě měření některých základních charakteristik obráběného materiálu alespoň do určité míry upřesňovat obrobitelnost konkrétní tavby materiálu (lze využít například pevnosti v tahu, tvrdosti, obsahu uhlíku, manganu apod.). Takto lze upřesňovat konstantu c_v komplexního Taylo-rova vztahu apod. Všude tam, kde tato možnost upřesňování podkladů pro obrábění není, jsme nuceni u strojů, které pracují bez obsluhy (a nejde o stroje, které mají možnost registrace poruchy), uvažovat nejhorší možný případ, který se při výrobě může vyskytnout, což významně snižuje hodnoty optimálních řezných podmínek.

Celkově lze optimalizaci řezných, eventuelně i dalších pracovních podmínek chápat jako stanovení optimálních hodnot určovaných podmínek dle uvažovaného optimalizačního kritéria v rámci omezujících podmínek. Při sestavování matematického modelu pro určování optimálních pracovních podmínek, respektivě logiky optimalizace, vycházíme tedy ze dvou výchozích údajů:

- matematicky formulovaného kritéria optimálnosti
- matematicky, eventuelně tabelárně formulovaných omezujících podmínek.

Při formulaci kritérií optimálnosti a omezujících podmínek je nutné vycházet z daných výchozích podmínek, které blíže určují technologii obrábění. U univerzálních NC strojů i u konvenčních strojů, u kterých určujeme optimální řezné podmínky před obráběním, jsme schopni optimalizovat řezný proces na základě parametrů, které musíme znát před vlastním obráběním (obrobitelnost materiálu, řezivost nástroje, velikost přídávku na obrábění, průměr, kterým obrábíme). Je zřejmé, že řadu z těchto parametrů jsme schopni pouze předpokládat, respektivě vycházet z nejméně příznivého případu, který se může při obrábění vyskytovat (například maximálně možný přídavek na obrábění, nejhorší možná obrobitelnost, maximální průměr, na kterém obrábíme a podobně). Všechny tyto předpoklady vnášíme do opti-

malizace řezných podmínek nepřesnosti a způsobují odklon od skutečně optimálního stavu. Tato skutečnost ve svém důsledku znamená snížení produktivity, zvýšení nákladů na obrábění apod. a představuje vlastně určitou rezervu pro optimalizaci.

Používají se dva druhy optimalizace řezných podmínek:

1. Optimalizace konvenční (u strojů bez adaptivního řízení)
2. Optimalizace adaptivní (u stroje s adaptivním řízením)

Konvenční optimalizací rozumíme optimalizaci řezných podmínek před vlastním obráběním.

Adaptivní optimalizací rozumíme optimalizaci řezných podmínek během obrábění. Optimalizaci provádí adaptivní řídicí systém na základě informací o právě se vyskytujícímu stavu řezného procesu (vyjíměčně na základě informací o výsledku určité části řezného procesu). Takto stanovené optimální hodnoty se u adaptivní optimalizace okamžitě realizují. Oba tyto typy optimalizací jsou v principu stejné. Vycházejí z omezujících podmínek a z kritéria optimálnosti. Také jejich matematická formulace je v principu stejná. U adaptivní optimalizace na rozdíl od konvenční jsou však některé údaje dodávány v průběhu obrábění snímači,

které zjišťují stav řezného procesu (například hloubku řezu, teplotu řezání, chvění, příkon na obrábění, otupení břitu apod.).

V této práci bude použita konvenční optimalizace při práci jedním nástrojem.

4.2. Konvenční optimalizace při práci jedním nástrojem

4.2.1. Kritéria optimálnosti

Obráběcí proces lze posuzovat podle různých kritérií. Zaměříme se dále na dvě nejdůležitější kritéria optimálnosti, a sice kritérium minimálních výrobních nákladů a kritérium maximální produktivity. Zásadně používáme kritérium minimálních výrobních nákladů a pouze v odůvodněných případech používáme kritérium maximální produktivity (v případě, kdy jsme vázáni termínem, respektive omezenou kapacitou výrobního zařízení).

Kritérium minimálních výrobních nákladů

Kritérium minimálních výrobních nákladů lze formulovat:

$$VN_u = \min \quad (5)$$

kde VN_u jsou výrobní náklady na uvažovaný operační úsek v Kčs (jsou uvažovány pouze náklady plynoucí ze strojního času t_s a času na výměnu, respektive seřízení opotřeбенého nástroje t_{vn} , náklady

na vedlejší práci a seřízení stroje optimalizací
řezných podmínek neovlivní).

Z hlediska těchto dvou časů lze náklady VN_u
rozepsat:

$$VN_u = N_{sn} + N_{vn} \quad (6)$$

N_{sn} - jsou náklady na strojní práci včetně nákladů
na nástroje v Kčs

N_{vn} - náklady na výměnu, respektive znovu seřízení
opotřebovaného nástroje nebo výměnné břitové
destičky v Kčs.

Položky N_{sn} , N_{vn} lze vyjádřit při obsluze jed-
noho stroje a obrábění jednoho kusu.

Náklady N_{sn} obsahují následující položky:

- náklady na mzdu dělníka (operátora)
- náklady na provoz stroje
- náklady na nástroje
- dílenské režijní náklady.

A sice:

(7)

$$N_{sn} = N_s + N_n = t_s \cdot \frac{1}{k_c} \cdot \frac{M_o}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_d}{100}\right) +$$

$$+ N_{ns} / + Z_v \cdot N_{nT} = t_s \cdot N_{sm} + Z_v \cdot N_{nT}$$

kde N_s jsou náklady na strojní práci v Kčs

N_{sm} - náklady na strojní práci v Kčs/min

N_{ns} - hodinové náklady na provoz stroje v Kčs/hod

N_n - náklady na nástroj v Kčs

N_{nt} - náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost břitů v Kčs

M_o - mzda operátora (dělníka) v Kčs/hod

VR_d - výrobní režie v %

k_c - přírážka směnového času ($k_c = 1,11 - 1,13$)

t_s - strojní čas v minutách

Z_v - počet výměn nástroje u celistvých nástrojů, respektive břitů u výměnných břitových destiček, vztažených na jednu součást.

Hodinové náklady na provoz stroje N_{ns} lze vyjádřit:

$$N_{ns} = O_s \cdot k_{us} + C_E \quad (8)$$

$$O_s = \frac{C_s}{\check{Z}_s \cdot F_{\check{c}} \cdot s_m \cdot \gamma_s} \quad (9)$$

kde O_s je odpis stroje v Kčs/hod

$\check{Z}_s$ - životnost stroje v letech

$F_{\check{c}}$ - časový fond stroje v hodinách (rok a směnu)

C_s - cena stroje v Kčs

C_E - cena za elektrickou energii (střední hod-

nota dlouhodobého průměru, respektivě odhad u nového stroje) v Kčs/hod

s_m - směnnost

k_{us} - koeficient oprav a údržby stroje

γ_s - koeficient časového využití stroje (podíl času, kde se na stroji pracuje v jedné, eventuelně více směnách, k celkovému času jedné, eventuelně více směn).

Koeficient časového využití stroje se stanovuje z dlouhodobého průměru, eventuelně z předpokladu o vytížení stroje. Pro různé typy výrob plynou z využití času v různých závodech přibližné hodnoty tohoto koeficientu uvedené v tabulce II.

γ_s	druh výroby
0,8	hromadná výroba (např. automobilky)
0,65-0,75	obráběcí centra v malosériové výrobě
0,6 -0,75	programově řízené stroje (např. NC stroje)
0,5 -0,65	konvenční malosériová výroba

Tabulka II.

Koeficient oprav a údržby stroje je dán podílem součtu ceny stroje, předpokládané částky za opravy, respektivě údržbu stroje (za dobu životnosti stroje) a ceny stroje.

Počet výměn Z_v při obrábění jedné součástky lze vyjádřit (počet výměn nemusí být celé číslo):

$$Z_v = \frac{T_s}{T} \cdot \tau \quad (10)$$

kde T je trvanlivost v minutách

τ - poměr skutečného času záběru nástroje a strojního času t_s .

Náklady na provoz nástroje, vztažené na jednu trvanlivost N_{nT} , lze vyjádřit pro celistvé (přestřované) nástroje - vrtáky:

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zn}}{z_o + 1} + t_{os} \cdot k_c \cdot \frac{M_{os}}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_{os}}{100}\right) \cdot \frac{z_o}{z_o + 1} \quad (11)$$

kde C_n je cena nástroje v Kčs

C_{zn} - zbytková cena nástroje v Kčs

M_{os} - mzda ostříče v Kčs/hod

VR_{os} - výrobní režie ostřířny v %

z_o - počet možných přestření nástroje

t_{os} - čas ostření nástroje v minutách.

Náklady N_{vn} obsahují:

- náklady na mzdu seřizovače
- náklady na provoz stroje
- dílenské režijní náklady.

$$N_{vn} = t_{vn} \cdot /k_c \cdot \frac{M_s}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_d}{100}\right) + \frac{O_s}{60} \cdot Z_v =$$

$$= t_{vn} \cdot N_{vnm} \cdot Z_v \quad (12)$$

kde N_{vnm} jsou náklady na výměnu, respektivě znovuseřízení opotřeбенého nástroje v Kčs/min

M_s - mzda seřizovače v Kčs/hod

t_{vn} - čas na výměnu a znovuseřízení nástroje, respektivě nástrojového držáku s nástrojem u celistvých nástrojů v minutách

- ostatní symboly viz. předchozí text.

Po dosazení do podmínky (5) ze vztahů (6), (7), (10) a (12) obdržíme kritérium optimálnosti z hlediska minimálních výrobních nákladů ve tvaru:

$$VN_u = t_s \cdot N_{sm} + \frac{t_s}{T} \cdot \tau \cdot N_{nT} + t_{vn} \cdot N_{vnm} \cdot$$

$$\cdot \frac{t_s}{T} \cdot \tau = \min \quad (13)$$

$$VN_u = t_s \cdot N_{sm} + \frac{t_s}{T} \cdot \tau \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) =$$

$$= \min \quad (14)$$

Se zřetelem na to, že určení optimálních řezných podmínek nelze obecně oddělit od určení optimální trvanlivosti nástroje, vyjádříme vztah (10) jako funkci řezných podmínek - posuvu s , hloubky řezu h , řezné rychlosti v , respektive trvanlivosti T (tedy veličin, které optimalizujeme).

Strojní čas je možné vyjádřit:

$$t_s = \frac{L}{n \cdot s} \quad (15)$$

kde L je délka obrábění (velikost dráhy vrtáku) v mm

n - otáčky obrobku nebo nástroje v min^{-1}

s - posuv v mm . ot $^{-1}$

Po dosazení ze t_s ze vztahu (15) do rovnice (14) obdržíme:

$$VN_u = \frac{L}{n \cdot s} \cdot N_{sm} + \frac{L \cdot \tau}{n \cdot s \cdot T} \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) = \min \quad (16)$$

Po sloučení konstant vztahu (16) do konstant K_1 , K_2 obdržíme kritérium optimálnosti ve tvaru:

$$VN_u = \frac{K_1}{n \cdot s} + \frac{K_2}{n \cdot s \cdot T} = \min \quad (17)$$

$$\text{kde } K_1 = L \cdot N_{sm} \quad (18)$$

$$K_2 = L \cdot \tau \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT})$$

4.2.2. Omezující podmínky

Technická omezení

Určitou technologii charakterizuje určitý soubor omezujících podmínek, tj. omezení, která se vyskytují při optimalizaci řezných podmínek. Je nezbytné vždy uvážit, které ze souboru omezujících podmínek lze pro danou technologii brát v úvahu. Čím je větší počet uvažovaných omezujících podmínek, které je nutno při určování optimálních řezných podmínek respektovat, tím složitější bude optimalizace. Formulace nejdůležitějších omezujících podmínek je následující. Omezující podmínky jsou obecně nerovnice, pouze vyjíměčně mohou být rovnicemi.

V případě nerovnic na levé straně vyjádříme omezující veličinu jako funkci řezných podmínek a na pravé straně uvedeme hodnotu omezující veličiny. Omezující podmínku upravíme dále tak, že na levé straně nerovnice necháme optimalizované řezné podmínky a na pravé straně konstanty.

a) Omezení dané výkonem obráběcího stroje

$$P_{\text{řez}} \leq P_{e_{\text{už}}} = P_e \cdot \eta \quad (19)$$

kde $P_{\text{řez}}$ je výkon potřebný při řezání ve W

$P_{e_{u\check{z}}}$ - užitečný výkon hlavního elektromotoru
stroje ve W

P_e - výkon hlavního elektromotoru ve W

η - mechanická účinnost stroje.

Výkon potřebný pro řezání $P_{\check{r}ez}$ je nutné vyjádřit jako funkci řezných podmínek:

$$60 P_{\check{r}ez} = F_c \cdot v \quad (20)$$

kde F_c je složka hlavní řezné síly v N

v - řezná rychlost v m/min

Pro technologii vrtání je nutno vyjádřit pomocí řezného momentu $M_{\check{r}ez}$:

$$60 P_{\check{r}ez} = M \cdot 2\pi n \quad (21)$$

kde M je krouticí moment v Nmm

n - otáčky vřetene v min^{-1}

$$M = 0,5 D \cdot F_c \quad (22)$$

kde D je vrtaný průměr v mm

F_c - složka hlavní řezné síly v N

$$F_c = c_{F_c} \cdot s^{y_{F_c}} \cdot H^{x_{F_c}} \quad (23)$$

kde c_{F_c} , y_{F_c} , x_{F_c} jsou konstanty určující řeznou sílu

s - posuv v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

H - šířka třísky $H = D - D_1$ (24)

D_1 - předvrtaný průměr v mm

Krouticí moment je tedy v konečné podobě vyjádřen takto:

$$M = c_M \cdot D \cdot H^{x_{Fc}} \cdot s^{y_{Fc}} \quad (25)$$

Po dosazení do omezující podmínky (21) z rovnic (24), (25) a po úpravě dostáváme omezující podmínku z hlediska výkonu stroje:

$$H^{x_{Fc}} \cdot s^{y_{Fc}} \cdot n \leq \frac{10^3 \cdot 60 \cdot P_e \cdot \eta}{2\pi \cdot D \cdot c_M} \quad (26)$$

Experimentálně určené střední hodnoty konstant a exponentů v rovnicích (25), (26), (35) a dalších, jsou v tabulce III.

uhlíková ocel	c_M	x_{Fc}	y_{Fc}	c_{Ff}	x_{Ff}	y_{Ff}
$\sigma_{pt} = 750 \text{ MPa}$	338	0,9	0,8	847	1,0	0,7
litina	c_M	x_{Fc}	y_{Fc}	c_{Ff}	x_{Ff}	y_{Ff}
HB 200	233	0,9	0,8	605	1,0	0,8

Tabulka III. Střední hodnoty konstant a exponentů.

Pro oceli jiné pevnosti a litinu jiné tvrdosti se hodnoty M a F_f , platné pro ocel $\sigma_{pt} = 750 \text{ MPa}$ a litinu HB 200, násobí opravným součinitelem dle tabulky IV.

ocel [MPa]	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
Ko	0,67	0,74	0,89	1,00	1,18	1,28
litina ^[HB]	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240
Ko	0,80	0,87	0,94	1,00	1,06	1,13

Tabulka IV. Opravné koeficienty pro M a F_f.

b) Omezení z hlediska pevnosti nástroje - šroubovitého vrtáku

Omezující podmínka tohoto typu se uplatní při vrtání především z hlediska kombinovaného namáhání na vzpěr a krut. Uvažovat pouze z hlediska maximálně přípustného kroutícího momentu je nespolehlivým měřítkem pevnosti nástroje, hlavně při větších délkách vrtáků.

Na základě experimentálního výzkumu bylo zjištěno, že o pevnosti šroubovitých vrtáků prakticky rozhoduje buď vzpěrná pevnost nebo pevnost v krutu.

Při určování této omezující podmínky je nejlepší postupovat následujícím způsobem:

$$F_{fkrit} = \frac{k_{xk} \cdot \pi \cdot E \cdot J_{red}}{l_o^2} \quad (27)$$

kde F_{fkrit} je kritická vzpěrná síla vrtáku v N

E - modul pružnosti v MPa

J_{red} - redukovaný moment setrvačnosti
průřezu v mm^4

(pro šroubovitě vrtáky je $J_{red} =$
 $= 0,008623 \cdot D^4$)

l_o - vzpěrná délka vrtáku v mm

k_{xk} - konstanta zahrnující vliv úhlu sklo-
nu šroubovice vrtáku a vliv uložení
vrtáku.

Experimentálně zjištěné hodnoty konstanty k_{xk}
pro šroubovitě vrtáky naší výroby jsou uvedeny
v tabulce V.

ω°	12	27	40
K_{xk}	1,89	2,07	1,50

Tabulka V.

2. Určíme kritický krouticí moment z hlediska pev-
nosti vrtáku:

$$M_{kkrit} = k_{Mk} \cdot \frac{\sigma_D \cdot W_k}{\alpha} \quad (28)$$

kde M_{kkrit} je kritický moment v N . mm

σ_D - dovolené napětí v MPa

W_k - modul průřezu v krutu mm^3

(pro šroubovité vrtáky $W_k = 0,03226 \cdot D^3$)

α - 2 (podle Questa), 3 (podle HMM)

k_{Mk} - konstanta zahrnující vliv úhlu sklonu šroubovice vrtáku a skutečný modul průřezu.

Experimentálně zjištěné hodnoty konstanty k_{Mk} pro šroubovité vrtáky naší výroby jsou uvedeny v tabulce VI.

ω°	12	27	40
K_{Mk}	1,47	1,83	1,67

Tabulka VI.

3. Určíme poměr:

$$P_{MF} = \frac{M_{kkrit}}{F_{fkrit}} \quad (29)$$

Pro obrábění šroubovitými vrtáky platí:

$$\frac{M_k}{F_f} = k_{kV} \cdot D \quad (30)$$

kde M_k je krouticí moment v N . mm

F_f - axiální složka řezné síly v N

D - průměr vrtané díry v mm

k_{kV} - koeficient poměrů $\frac{M_k}{F_f}$

Přibližné hodnoty k_{kv} pro obrábění různých materiálů jsou uvedeny v tabulce VII.

Materiál	Ocel Ocelolitina	šedá litina	temperovaná litina	mosaz	lehké kovy
K_{kv}	0,44	0,76	1,11	0,92	0,85

Tabulka VII.

4. Rozhodneme, zda rozhoduje M_{kkrit} , nebo F_{fkrit} .

Je-li

$$P_{MF} > k_{kv} \cdot D_n \quad (31)$$

pak rozhoduje F_{fkrit} , je-li

$$P_{MF} < k_{kv} \cdot D_n \quad (32)$$

rozhoduje M_{kkrit} . Při rovnosti $P_{MF} = k_{kv} \cdot D_n$ je lhostejné, které kritérium použijeme.

5. V případě, že rozhoduje M_{kkrit} , pak omezující podmínka má tvar

$$M_k \leq \frac{M_{kkrit}}{k_B} \quad (33)$$

kde k_B je koeficient bezpečnosti ($k_B = 2$)

Po dosazení za M_k z rovnice (25) do (33) dostaneme omezující podmínku ve tvaru:

$$\frac{x_F^c}{H} \cdot \frac{y_F^c}{s} \leq \frac{M_{kkrit}}{c_M \cdot D \cdot k_B} \quad (34)$$

6. V případě, že rozhoduje F_{fkrit} , pak omezující podmínka má tvar:

$$F_f \leq \frac{F_{fkrit}}{k_B} \quad (35)$$

Pro axiální složku řezné síly platí vztah:

$$F_f = c_{F_f} \cdot H^{x_{F_f}} \cdot s^{y_{F_f}} \quad (36)$$

Po dosazení za F_f ze vztahu (35) do vztahu (36) dostaneme po úpravě omezující podmínku ve tvaru:

$$\frac{H^{x_{F_f}} \cdot s^{y_{F_f}}}{c_{F_f} \cdot k_B} \leq \frac{F_{fkrit}}{c_{F_f} \cdot k_B} \quad (37)$$

c) Omezení dané vhodným utvářením třísky

Toto omezení se provádí u strojů pracujících bez přímého dohledu a znalosti diagramů vhodného utváření třísky, které jsou uvedeny v katalogích nástrojů nebo je nutné stanovit tyto diagramy experimentálně.

Pro vrtání tato omezující podmínka nebude uvažována.

d) Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

Toto omezení má vyjimečné postavení mezi

ostatními. Omezující podmínka je dána rovnicí a kromě toho je funkcí trvanlivosti nástroje. Dnes ještě nejsme schopni charakterizovat obrobitelnost (respektivě řezivost a řezné prostředí) pomocí základních fyzikálních, respektivě chemických veličin, proto charakterizujeme nejčastěji obrobitelnost materiálu pro optimalizaci řezných podmínek pomocí komplexního Taylorova vztahu, který je současně charakteristikou řezivosti a řezného prostředí.

Pro vrtání platí vztah:

$$n \cdot s^y_v = \frac{10^3 \cdot c_v}{D \cdot H^{x_v} \cdot \pi \cdot T^m} \quad (38)$$

kde T je trvanlivost v min

x_v, y_v, m, c_v - experimentálně určené konstanty.

Omezující podmínka z hlediska komplexního Taylorova vztahu se může uvažovat spolu s ostatními omezujícími podmínkami nebo jí lze začlenit do kritéria optimálnosti, kde dosadíme za T z komplexního Taylorova vztahu.

e) Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami z hlediska stroje

Se zřetelem na to, že otáčky lze nastavit na stroji v určitém rozsahu, musí platit:

$$n_{smin} \leq n \leq n_{smax} \quad (39)$$

kde n_{smax} jsou maximální otáčky dosažitelné
na stroji v min^{-1}

n_{smin} jsou minimální otáčky dosažitelné
na stroji v min^{-1}

n - otáčky v min^{-1}

f) Omezení dané minimálním a maximálním posuvem
z hlediska stroje

Se zřetelem na to, že posuvy lze nastavit
na stroji v určitém rozsahu musí platit:

$$s_{smin} \leq s \leq s_{smax} \quad (40)$$

kde s_{smax} je maximální posuv dosažitelný na
stroji v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

s_{smin} - minimální posuv dosažitelný na
stroji v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

s - posuv v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

g) Organizační omezení

Kromě omezení technického charakteru mohou
přicházet v úvahu omezení organizačního charak-
teru. Při jednonástrojovém obrábění je to ome-
zení z hlediska množství speciálních nástrojů,
časové rozmezí, ve kterém seřizovač může prová-
dět výměnu nástrojů apod. Matematická formulace

je závislá na konkrétních podmínkách.

4.2.3. Algoritmus pro výpočet optimalizace řezných podmínek pro technologii vrtání a vlastní program

Jsou dva způsoby určování optimálních řezných podmínek:

1. Postupný způsob určování optimálních řezných podmínek.
2. Komplexní optimalizace řezných podmínek.

Postupný způsob určování optimálních řezných podmínek je možno použít v případě, že nemůžeme určit optimální trvanlivost před určením optimálních řezných podmínek, tedy v případě rezerv ve výkonu, otáčkách, respektive posuvu stroje, tzn. že se neuplatní omezující podmínky z hlediska výkonu, otáček a posuvu stroje.

V této práci bude použita komplexní optimalizace řezných podmínek. Při této optimalizaci vycházíme z komplexu omezujících podmínek a z kritéria optimálnosti. Komplexní výpočet respektuje všechny vazby mezi omezujícími podmínkami a kritériem optimálnosti. Optimalizační úlohy řešíme obvykle pro určitou hloubku řezu.

Se zřetelem na složitost matematického řešení komplexní optimalizace i se zřetelem na možnost automatizace technické přípravy výroby provádíme

výpočty zásadně s pomocí výpočetní techniky.

Jako matematické metody využitelné pro optimalizaci řezných podmínek to jsou zejména:

- metody matematického programování
- analytické metody
- gradientní metody
- geometrické metody
- jiné metody.

Pro zpracování optimalizace řezných podmínek bude použito analytické metody. Při řešení optimalizačních úloh touto metodou vycházíme nejčastěji ze známých skutečností. Lze například dokázat podle /5/, že optimální řešení leží na hranici přípustných řešení (bez uvažování omezující podmínky dané komplexním Taylorovým vztahem).

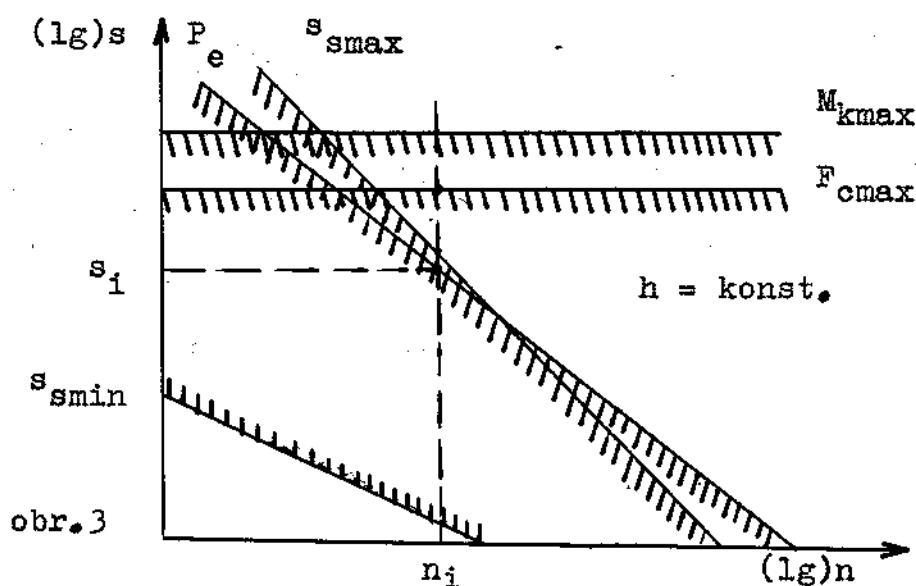
Dále lze dokázat, že optimální řešení může prakticky být pouze na hranici omezující podmínky:

- z hlediska výkonu stroje
- z hlediska maximálního minutového posuvu dosažitelného na stroji
- typu $s \leq \text{konst.}$ a pokud bude určen lokální extrém kritériální funkce na některé z těchto hranic omezujících podmínek, bude tento extrém jejím lokálním extrémem.

Na základě těchto skutečností je možné navrhnout algoritmy výpočtu. Pro tuto práci bude použit

algoritmus vhodný pro stroje se stupňovitou změnou otáček a lze ho formulovat následovně:

1. Pro uvažovanou hloubku řezu h a každý otáčkový stupeň n_i určíme průsečíky omezující podmínky dané komplexním Taylorovým vztahem s hranicemi omezujících podmínek, které omezují posuv shora. Výsledkem jsou hodnoty maximálně přípustných posuvů daných jednotlivými omezujícími podmínkami. Minimální hodnota posuvu ze všech těchto posuvů je optimální hodnotou posuvu s_i pro daný otáčkový stupeň - viz. například oblast přípustných řešení podle obrázku 3. (hodnota s_i je optimální, pokud je splněn bod 2).



2. Pro dané otáčky n_i provedeme kontrolu, zda s_i je větší než maximální hodnota z minimálně přípustných posuvů, které jsou dány omezujícími podmínkami pro posuv zdola. Pokud tomu tak není, neexistuje řešení pro uvažovaný otáčkový

stupeň.

3. Pro danou kombinaci h , n_i , s_i , T_i (T_i určíme z komplexního Taylorova vztahu) vypočteme hodnotu kritéria optimálnosti KO_i . Optimální hodnota kritéria optimálnosti určuje optimální řešení pro danou hloubku h .

Je to příklad jednoúčelově zaměřeného algoritmu, který kompenzuje nevýhody univerzálně zaměřených algoritmů (které obsáhnou určitou technologii nebo skupinu technologií i s jejími různými variantami například soustružení a vyvrtávání s různými typy nástrojů), což je značný počet vstupních dat a potřeba větší kapacity paměti počítače, ale má také své nevýhody. Nevýhodou je jejich jednoúčelové zaměření, například na optimalizaci řezných podmínek pro určitou technologii, určité kritérium optimálnosti, určitý stroj, nástroj, materiál obrobku, určitý charakter práce apod.

Tuto nevýhodu lze však odstranit vytvořením systému jednoúčelových programů pro konkrétní potřeby určitého závodu. Tyto programy mohou být zachyceny na vnějších paměťových médiích (magnetofonové kazety, pružné disky atd.).

4.2.4. Program Optimalizace řezných podmínek pro vrtání

Program "Optimalizace řezných podmínek pro

vrtání" bude zařazen do systému jednoúčelových programů spolu s programy pro ostatní technologie obrábění (frézování, soustružení atd.). Program je vytvořen pro optimalizaci řezných podmínek při vrtání vrtákem z rychlořezné oceli pro vrtání do plného materiálu i do předvrtaných otvorů.

Jako kritérium optimálnosti je voleno kritérium minimálních výrobních nákladů popsané v kapitole 4.2.1. Voleno bylo z důvodů ekonomické výhodnosti obráběcího procesu, jež je důležitá pro samofinancování v nově vzniklých státních podnicích. Omezující podmínky byly voleny:

- z hlediska maximálního výkonu stroje (26)
- z hlediska pevnosti nástroje - vrtáku (34), (37)
- omezení dané komplexním Taylorovým vztahem (38)
- omezení z hlediska minimálních a maximálních otáček stroje (39)
- omezení z hlediska minimálního a maximálního posuvu na stroji dosažitelného (40)

Vstupní hodnoty se rozdělují do několika skupin:

1. Týkající se obrobku - průměry D , D_1 , délka vrtané díry L , opravný koeficient KO z tabulky IV., poměrná hodnota τ a rozhodovací číslo C , jde-li o ocel nebo litinu.
2. Týkající se stroje - výkon hlavního elektromotoru PE , účinnost UC , minimální otáčky N_{min} ,

maximální otáčky N_{max} , počet otáčkových stupňů J , minimální posuv stroje S_{smin} a maximální posuv stroje S_{smax} .

3. Týkající se nákladových položek - NSM, NVM, NNT, čas TVN.
4. Týkající se nástroje - délka vrtáku L_v , modul pružnosti E , dovolené napětí vrtáku v krutu SIGD.
5. Ostatní - koeficienty Taylorova vztahu CV, M, XV, YV a opravné koeficienty pro osovou sílu a krouťicí moment KXK, KMK.

Algoritmus výpočtu odpovídá algoritmu z kapitoly 4.2.3.:

1. Pro danou hloubku řezu H a každý otáčkový stupeň n_i určíme průsečíky přímky $n = n_i$ s hranicemi omezujících podmínek, které omezují posuv shora. Výsledkem jsou hodnoty maximálních posuvů z hlediska uvažovaných omezujících podmínek, které omezují posuv shora.

Optimální hodnoty posuvu s_{max} pro daný otáčkový stupeň bude minimální hodnota ze všech těchto posuvů:

$$s_{max} = \min (s_v, s_p, s_{smax}) \quad (41)$$

2. Minimální hodnota posuvu s_{min} , bude hodnota s_{smin} omezující posuv zdola.
3. Pro každé n_i provedeme kontrolu, zda $s_{max} \geq s_{min}$. Pokud tomu tak není, neexistuje pro daný otáčkový

stupeň řešení.

4. V případě, že $s_{\max}$ leží v oblasti přípustných řešení, určíme pro dané n_i , $s_{\max}$ hodnotu trvanlivosti T z komplexního Taylorova vztahu, hodnotu kritériální funkce VN_u ze vztahu (16) a dále řeznou rychlost v a jednotkový strojní čas t_s . Optimální hodnota kritéria optimálnosti určuje optimální řešení úlohy.

Program je zpracován v programovacím jazyku Turbo Pascal verze TP/3, odladěn na počítači PP 06 nahrán na pružném disku Logo Star 5,25" číslo 571, pod názvem OPTIMAL3.PAS. Vývojový diagram a výpis programu je na přílohách č. 1., č. 2.

5. Tvorba databanky řezných podmínek pro vrtání

5.1. Nutnost technologické databanky

V kapitole 2. je popsán současný stav v oblasti databank ve světě. Československo zatím nemá centrální informační středisko pro obrábění, které by mělo k dispozici jak technologickou databanku materiálů (nástrojových i na obrábění), tak i banku řezných podmínek pro různé technologie obrábění a optimalizační programy pro tyto řezné podmínky. Proto je snaha vytvořit základy takového informačního centra. K tomu by měla sloužit i tato diplomová práce.

Databanka řezných podmínek v součinnosti s pro-

gramových vybavení pro optimalizaci řezných podmínek se stane žadáným pomocníkem v oddělení technologie ve strojírenských podnicích, kde podstatně zrychlí práci technologů a normovačů svými rychlými informacemi o žadáných hodnotách. Ušetří jejich čas, který budou moci využít v jiných činnostech.

5.2. Struktura databanky

Vstupní hodnoty pro databanku řezných podmínek se týkají obráběného materiálu tzn. průměr D, předvrtaný průměr D1, materiál obrobku zadávaný označením podle ČSN (např. materiál obrobku: 12050), dále opravných koeficientů Kver /4/ (1,25 - 1,4 pro vrtání), Kopr (oprava z hlediska úhlu špičky ϵ) a nakonec kódu stroje - vrtačky, na které se bude obrábět (např. typ stroje: VR - 4).

V další části programu se provede výběr ze souborů OTACKY.DTA, MATERIAL.DTA, SOUBOR.DTA, SOUB1.DTA, které jsou zadány na disku pomocí programů ZADRAD.PAS, ZADMAT.PAS, ZADREZTO.PAS a ZREZTO1.PAS.

Soubor OTACKY.DTA obsahuje údaje o strojích. Zadává se typ vrtačky (např. VR - 4), výkon hlavního elektromotoru, limitní kroutící moment, počet otáčkových stupňů a jednotlivé otáčkové stupně. Tento soubor slouží k výběru takových otáček skutečných, které na zadávaném stroji existují a jsou nejblíže normativním.

Soubor MATERIAL.DTA obsahuje údaje o materiálu obrobku. Zadávají se materiály označením dle ČSN (např. 12050), třída obrobitelnosti (např. 14B), koeficient m a $k_{s1} / 4/$. Tyto údaje jsou nutné pro výpočet hlavní řezné síly pomocí řezného odporu.

Soubor SOUBOR.DTA obsahuje normativní řezné podmínky pro vrtání do plna. Zadávají se následovně:

třída obrobitelnosti

průměr předvrtaný průměr posuv otáčky osová síla
zadáva se pro určitou třídu obrobitelnosti a n - průměrů (předvrtaný průměr = 0) podle normativů řezných podmínek pro vrtání. Tyto hodnoty jsou nutné pro výpočet řezné síly, řezné rychlosti a jako výstupní hodnoty kromě otáček, které se opraví dle skutečné otáčkové řady zadaného stroje.

Soubor SOUB1.DTA obsahuje normativní řezné podmínky pro vrtání předvrtaných otvorů. Zadávají se jako v souboru SOUBOR.DTA (předvrtaný průměr $\neq 0$).

Program pokračuje výpočtem řezné síly podle
/4/

$$F_c = \frac{H}{2} \cdot s \cdot k_s \cdot f_B \cdot K_{ver} \quad (42)$$

kde F_c je řezná síla v N

$$H = D - D_1 \text{ v mm}$$

s - posuv v mm/ot

k_s - měrný řezný odpor v MPa

$$k_s = \frac{k_{s1}}{H^m} \quad (43)$$

k_{s1} je specifický řezný odpor při $H = 1$ mm

m - koeficient

k_{s1} , m v tabulce v příloze 3. /4/

f_B - opravný koeficient

$f_B = 0,95$ pro vrtání předvrtaných otvorů

$f_b = 1$ pro vrtání do plna /4/

Kver - opravný koeficient pro vrtání dle /4/

Následuje výpočet řezného momentu.

$$MR = F_c \cdot \frac{D}{2} \quad (44)$$

Porovnání nepřesahuje-li limitní moment stroje

$$MR \leq M_{lim} \quad (45)$$

Platí-li toto a platí-li $P_{řez} \leq P_e$, pak jsou na výstup přiřazeny hodnoty odpovídající výběru. Neplatí-li jedna z těchto nerovnic, nebo neplatí-li obě, vyhledají se v souborech

SOUB1.DTA nižší hodnoty řezných podmínek a provádí se opětovná kontrola.

Program obsahuje i testy na existenci souboru a zadávání reálných čísel. Zjištěné nesrovnalosti ohlašuje příslušným textem na obrazovce.

Výstup programu obsahuje řezné podmínky pro zvolený materiál obrobku, stroj, průměr. Dále obsahuje osovou sílu a řezný výkon.

Práce s programem je jednoduchá a časově nenáročná. Je zpracován v programovacím jazyku Turbo Pascal verze TP/3 a uložen na disku Logo Star 5,25" číslo 571 pod názvem BANKA3.PAS spolu s podprogramy pro databanku PODPROG1.PAS a programy pro zadávání souborů ZADRAD.PAS, ZADMAT.PAS, ZADREZTO.PAS, ZREZTO1.PAS. Vývojový diagram a výpisy programů jsou na přílohách č. 3., 4., 5.

5.3. Sběr dat

Při zadávání této práce byla uvažována možnost databanky řezných podmínek pro vrtání, která by neobsahovala data normativní (normativní řezné podmínky), ale konkrétní řezné podmínky používané na závodě. K tomuto účelu byl proveden sběr dat. Byl prováděn do předtištěných formulářů (příloha č. 6), vždy v určitém závodě pro obrábění určitého materiálu a na konkrétním stroji. Sběr byl prováděn v odděleních technologie z technologických postupů, nebo přímo na dílně od obsluhy strojních zařízení.

Bylo získáno asi 150 dat, která jsou roztrídě-

na podle třídy obrobitelnosti. Pro použití v databance by těchto dat muselo být podstatně více. Proto bylo rozhodnuto vytvořit databanku řezných podmínek pro vrtání ze stávajících normativů řezných podmínek.

6. Zhodnocení a závěr

Obrábění, které se podílí značnou měrou na celkových nákladech a pracnosti ve strojírenské výrobě se v současné době vyznačuje následujícími charakteristickými znaky:

1. Neustále jsou vyvíjeny nové materiály pro řezné nástroje a nové typy nástrojů, umožňující dosahovat větších výkonů při obrábění.
2. Do používání se zavádějí nové konstrukční a jiné materiály, lišící se od stávajících jak užitnými vlastnostmi, tak i obrobitelností.
3. Na trh přicházejí obráběcí stroje s lepšími parametry (výkon, tuhost, přesnost), umožňující pracovat s intenzivnějšími řeznými podmínkami. Ve stále větší míře se používají automaticky řízené (NC) obráběcí stroje s předem daným (naprogramovaným) obráběcím cyklem. Zároveň se stále naléhavěji projevuje nutnost
 - snižovat výrobní náklady
 - zvyšovat produktivitu práce
 - šetřit materiály, energii, pracovní síly
 - zkracovat dobu přípravy výroby.

Pro podniky, ve kterých se obrábí, ale i pro výrobce řezných nástrojů je proto důležité mít k dispozici informace týkající se

- obrobiteľnosti nebo řezivosti různých materiálů
- řezných podmínek pro obrábění
- řezných nástrojů
- obráběcích strojů

Z těchto důvodů vznikla v řadě průmyslově vyspělých zemí tzv. informační střediska pro obrábění, jejichž úkolem je všeobecně získávat, zpracovávat, uchovávat a poskytovat zájemcům zmíněné informace.

Zpracování a uchování těchto informací v paměti samočinných počítačů pomáhá zkracovat dobu přípravy výroby a určit nejoptimálnější řezné podmínky a řezné nástroje pro určitou operaci. To se projeví ve snížení výrobních nákladů a ve zvýšení produktivity práce. Databanka řezných podmínek spolu s optimalizací řezných podmínek by mohla být součástí konstrukčně - technologické banky údajů.

Závěrem bych chtěl vyslovit poděkování vedoucímu diplomové práce s. Doc. Ing. Vojtěchu Drábovi, CSc a s. Ing. Aleši Průškovi za cenné připomínky, rady a pomoc při vypracování této diplomové práce.

Malík Petr



S e z n a m l i t e r a t u r y

- /1/ Mádl, J.: Optimalizace řezných podmínek v teorii
 obrábění, ČVUT Praha, 1988
- /2/ Dráb, V. a kol.: Technologie I, VŠST Liberec, 1985
- /3/ Přikryl, Z. - Musílková, R.: Teorie obrábění,
 SNTL/ALFA, 1982
- /4/ Degner, W. - Lutze, H. - Smejkal, E.: Spanende Formungh,
 VEB VT Berlin 1985
- /5/ Mádl, J. - Tláskalová, M. - Noháč, Z.: Optimalizace
 řezných podmínek na minipočítačích,
 Strojírenská výroba č. 10, 1986
- /6/ Kvapil, R. - Menšík, J.: Informační středisko pro obrá-
 bění, Výzkumná zpráva VŠST, 1980
- /7/ Sborník Vrtačky CNN - 10 - 2 - 2 - 0/III
- /8/ Jinoch, J. - Müller, K. - Vogel, J.: Programování
 v jazyku Pascal, SNTL Praha, 1988

S e z n a m p ř í l o h

1. a, b, c, - Vývojový diagram Optimalizace řezných podmínek - vrtání.
2. Výpis programu Optimalizace řezných podmínek - vrtání.
3. Vývojový diagram Databanka řezných podmínek - vrtání.
4. Výpis programu BANKA 3.
5. Výpis programů PODPROG1.PAS, ZADRAD.PAS, ZADMAT.PAS, ZADREZTO.PAS, ZREZTO1.PAS.
6. Formulář pro sběr dat v podnicích.

Příloha č. 7

Práce s programy 1. OPTIMAL 3.PAS

2. BANKA 3.PAS

Tato příloha je zpracována jako uživatelská příručka k programům OPTIMAL 3.PAS a BANKA 3.PAS. Obsahuje popis práce s programem, vzorový příklad a způsob rozšiřování datových souborů.

1. Program pro optimalizaci řezných podmínek pro vrtání

Program lze použít pro výpočet optimálních řezných podmínek pro vrtání nástrojem z rychlořezné oceli do plného i předvrtaného materiálu. Je zde použito kritérium minimálních výrobních nákladů jako optimalizační kritérium a omezujících podmínek z hlediska stroje a nástroje. Tímto se zabývám podrobně v diplomové práci Databanka řezných podmínek - vrtání. Zde se zaměřím jen na popis práce s programem.

Program je uložen na pružném disku 5,25" s příslušným označením OPTIMAL 3.PAS. Před nahráním tohoto programu je nutno nahrát programovací jazyk Turbo Pascal /TURBO.COM/.

Pro nahrání programu stiskneme tlačítko „R“. Program se přeloží po blocích a pak se objeví hlavička s vyzváním pro zadávání vstupních dat.

Příklad

Zadej vstupní hodnoty:

Obraběný materiál : Ocel : C=1 : Litina : C=0 :	1
Vrtaný průměr D [mm] :	40
Předvrtaný průměr D1 [mm] :	12
Vrtaná délka L [mm] :	40
Pomer skut. času k Ts TAU :	0.95
Opravný koeficient K0 : /vybráno z tabulky/	1.0
Výkon hl. elektromotoru PE [W] :	3000
Účinnost vrtácký :	0.75
Max. otáčky vrtácký Nmax [1/min] :	2000
Min. otáčky vrtácký Nmin [1/min] :	45
Počet otáč. stupňů J :	12
Min. posuv Ssmin [mm/ot] :	0.025
Max. posuv Ssmax [mm/ot] :	1.58
Čas na výmenu nástroje TVN [min] :	3
Naklady na výmenu nástroje NVM [Kcs/min] :	0.35
Naklady na strojní práci NSM [Kcs/min] :	0.50
Naklady na nástroj /na jednu T/ NNT [Kcs] :	6
Opravný koef. pro os. sílu KXX :	2.07
/vybráno z tabulky/	
Opravný koef. pro kr. moment KMK :	1.83
/vybráno z tabulky/	
Modul pružnosti E [MPa] :	2.06 E 04
Dov. napětí vrtáku SIGD [MPa] :	800
Délka vrtáku Lv [mm] :	349
Koeficienty Taylorova vztahu:	
M :	7

CV :	5
XV :	0.5
YV :	-0.4

Výstupní hodnoty:

OPTIMALNI PARAMETRY

Otacky [1/min]	Nopt :	126.7
Posuv [mm/ot]	Sopt :	0.38417
Rez. rychl. [m/min] ...	Vopt :	15.916
Naklady [Kcs]	VNopt :	0.4501
Trvanlivost [min]	Topt :	141.0508
Stroj. cas [min]	Tsopt :	0.8221

Chces-li pocitat dale, stiskni "R"

Nechceme-li pokračovat ve výpočtu, stiskneme současně tlačítka „Ctrl-K-D“, tím přeručíme program a připravíme počítač pro další práci.

2. Databanka řezných podmínek pro vrtání

Tato databanka obsahuje řezné podmínky pro vrtání do plného i předvrtaného materiálu. Je rovněž nahrána na pružném disku 5,25" pod názvem BANKA 3.PAS. Dále obsahuje podprogram pro databanku PODPROG 1.PAS, který obsahuje procedury použité v hlavním programu a podprogramy pro zadávání dat - ZAD-

RAD.PAS - zadávání údajů o strojích do souboru OTACKY.DTA -
- nejdříve nahraji Turbo Pascal, potom program ZADRAD.PAS a
po stisknutí tlačítka „R“ zadáváme označení stroje, účinnost
a výkon, počet otáčekových stupňů a jednotlivé stupně.

Dále je to program ZADMAT.PAS - zadávání údajů o obráběných materiálech do souboru MATERIAL.DTA. Zadává se označení podle ČSN, třída obrobiteľnosti a koeficienty pro výpočet řezného odporu KS1 a M.

A nakonec programy ZADREZTO.PAS a ZREZTO.PAS - zadávání normativních řezných podmínek do souboru SOUBOR.DTA - vrtání do plna a do souboru SOUB1.DTA - vrtání předvrtaných otvorů. Zadává se třída obrobiteľnosti a řezné podmínky podle průřezů.

Počet dat v souborech je určován konstantou M u programů ZADRAD.PAS - počet strojů, ZADMAT.PAS - počet materiálů. U souborů ZADREZTO.PAS a ZREZTO.PAS konstanty M a N, kde M je počet tříd obrobiteľnosti a N počet průměrů pro jednu třídu obrobiteľnosti. Velkými písmeny zadávat stroj /VR-4/ a třídu obrobiteľnosti /14 B/!

Práce s databankou

Po nahrání programu BANKA 3.PAS /na disku musí být POD-
PROG 1:PAS, OTACKY.DTA, MATERIAL.DTA, SOUBOR.DTA, SOUB1.DTA/
a stisknutí tlačítka „R“ se objeví hlavička programu. Stisknutím tlačítka „RETURN“ přejdeme k zadávání vstupních dat

Prumer [mm] :	10
Předvrtany prumer[mm] :	0
KOPR :	1.8
KVER :	1.25

Material obrobku [CSN] :

15231

Stroj :

VR-4

Výstupní hodnoty

s	0.09
n	499
v	15.65
Fos	2300
Přez	0.129

Příloha 6.

Formulář na sledování různých podmínek při soustružení (S),
frézování (F), vrtání (V), broušení (B)

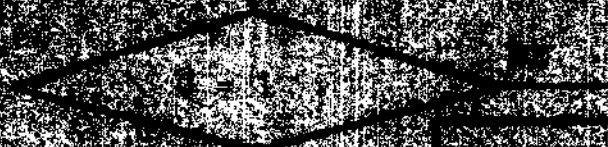
		Podnik:	
0.	Způsob obrábění (S,F,V,B)		
1.	Obráběcí stroj (označ přík.)		
2.	Název		
3.	Norma		
4.	Rozměr /mm/		
5.	Počet zubů		
6.	Pruh destičky (tvar, rozm.)		
7.	Materiál (destičky)		
8.	Kriterium opotř. VB,KT /mm/		
9.	Trvanlivost (T/min)		
10.	Druh materiálu (ČSN)		
11.	Rozměry obrobku /mm/		
12.	Pevnost /MPa/		
13.	Tvrdost /označit jednotky/		
14.	Teplné zpracování		
15.	Třída obrobitelnosti		
16.	Polotovár /výkovek apod./		
17.	Otáčky /n/min/		
18.	Řezná rychlost v_c /m/min/		
19.	Posuv na zub s_z /mm/zub/		
20.	Posuv na otáčku s_o /mm/ot/		
21.	Posuvová rychlost v_f /mm/ot/		
22.	Hloubka řezu h/mm/		
23.	Obráběná délka L /mm/		
24.	Obráběná šířka B /mm/		
25.	Obráběný průměr D /mm/		
26.	Předepsaná drsnost R_a /mm/		
27.	Chlazení /ano či ne/druh/		
28.	Množství chlad. kapaliny		
29.	Řez /plynulý, přerušovaný/		
30.	Hrubování x načisto		
31.	Poznámka /sousedné, nesousledné, fréz. obrábění s kůrou, hrubování načisto ap./		

- Pozn.: 1/ Vyplnujte ty údaje, které odpovídají dané technologii
 2/ Pokud nejsou známy přesné údaje /např. velikost opotřebení, počet obrobených kusů ap./, uveďte kvalifik. odhad a označte ++
 3/ Pokud není známa trvanlivost z min., uveďte počet vyr. kusů
 4/ Případné další údaje uveďte v pozn. 31 nebo na druhé str. formuláře

Dne Zpracoval:

1. Introduction

The purpose of this study is to investigate the effects of various factors on the performance of the system. The study is divided into two main parts: a theoretical analysis and an experimental investigation. The theoretical analysis is based on the principles of system theory and the experimental investigation is based on the results of a series of experiments.



The theoretical analysis is based on the principles of system theory. It is a logical and systematic approach to the study of systems. It involves the identification of the components of the system and the relationships between them. It also involves the development of a model of the system and the use of this model to predict the behavior of the system.

The experimental investigation is based on the results of a series of experiments. It is a practical approach to the study of systems. It involves the construction of a physical model of the system and the use of this model to measure the performance of the system. It also involves the comparison of the results of the experiments with the predictions of the theoretical analysis.

The results of the theoretical analysis and the experimental investigation are compared and the differences between them are discussed. It is found that the theoretical analysis provides a good approximation of the behavior of the system, but it is not as accurate as the experimental investigation. The experimental investigation provides a more accurate picture of the behavior of the system, but it is more expensive and more time-consuming than the theoretical analysis.

The results of the study are summarized in the following table:



The theoretical analysis provides a good approximation of the behavior of the system, but it is not as accurate as the experimental investigation. The experimental investigation provides a more accurate picture of the behavior of the system, but it is more expensive and more time-consuming than the theoretical analysis.

The results of the study are summarized in the following table:

SECRET

REF ID:

1. **SECRET**
2. **SECRET**
3. **SECRET**

4. **SECRET**
5. **SECRET**
6. **SECRET**

7. **SECRET**

8. **SECRET**

9. **SECRET**

10. **SECRET**

11. **SECRET**
12. **SECRET**
13. **SECRET**

14. **SECRET**

15. **SECRET**

16. **SECRET**

17. **SECRET**

18. **SECRET**

19. **SECRET**

20. **SECRET**
21. **SECRET**
22. **SECRET**

23. **SECRET**
24. **SECRET**

25. **SECRET**
26. **SECRET**

27. **SECRET**
28. **SECRET**

01

START

INITIALIZE

SETUP

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

OUTPUT

STOP

END

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

FOR EACH ELEMENT IN LIST
DO
 PROCESS ELEMENT
END FOR

02

