ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní
Ústav technologie obrábění projektování a metrologie

Optimalizace řezných podmínek u vybrané součásti

Optimisation of cutting conditions at selected workpiece

Bakalářská práce

Studijní obor Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní program Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Autor práce Jan Kraus

Vedoucí práce prof. Ing. Jan Mádl, CSc.

Praha 2016

Vysoká škola: ČVUT v Praze Fakulta: strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Jana Krause

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Optimalizace řezných podmínek u vybrané součásti

Název anglicky: Optimisation of cutting conditions at selected workpiece

Zásady pro vypracování:

1. Zásady optimalizace řezných podmínek.
2. Rozbor výroby vybrané součásti.
3. Návrh optimálních řezých podmínek se zaměřením na řeznou rychlost.
4. Zhodnocení navržené varianty ve srovnání se stávající vaiantou.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma optimalizace procesu obrábění u vybrané součásti vypracoval samostatně s použitím odborné literatury uvedené na konci této práce.

V Praze dne ....

Jan Kraus

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá procesem optimalizace řezných podmínek konkrétní součásti vyráběné ve vybraném podniku. Cílem práce je vyhodnocení výroby a návrh ekonomického zlepšení parametrů výroby. V první části jsou popsány zásady optimalizace řezných podmínek, v následující kapitole je práce zaměřena na konkrétní optimalizační úkol. Závěr práce se věnuje zhodnocením zvolené varianty a návrhem změn ve výrobním procesu.

Klíčová slova

optimalizace obráběcího procesu, optimalizace řezných podmínek, optimální trvanlivost nástroje, soustružení

Abstract

The bachelor thesis is focusing on optimization process of cutting condition at selected workpiece in real manufacturing company. The aim is to evaluate the production and design of economic improvement process parameters. The first part describes the principles of optimizing cutting conditions, the following chapter is aimed at the specific optimization task. The conclusion deals with the evaluation of the selected variant and the technologic changes in the production process.

Keywords

optimization of machining processes, optimization of cutting speed, optimal tool life, turning

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval společnosti Carboservis, s.r.o. za umožnění realizace této bakalářské práce. Dále prof. Ing. Janu Mádlovi, CSc., který mi poskytoval během roku cenné rady, a další velké díky patří mé rodině, která mě po celou dobu studia podporuje.

Obsah

Seznam zkratek a symbolů 8

Seznam obrázků 11

Seznam tabulek 12

1 Úvod 13

2 Optimalizace obráběcího procesu 14

2.1 Optimalizace obráběcího nástroje 14

2.2 Optimalizace řezných podmínek 16

2.3 Skladba nákladů 16

2.4 Kritéria optimálnosti 16

2.5 Omezující podmínky optimalizace obráběcího procesu 21

2.6 Optimální trvanlivost obráběcího nástroje 27

3 Adaptivní optimalizace 28

3.1 Rozdělení řídicích systémů pro adaptivní optimalizaci 29

4 Výpočet optimálních řezných podmínek 32

4.1 Popis společnosti 32

4.2 Vyráběná součást 33

4.3 Výrobní zařízení 35

4.4 Výrobní postup 38

4.5 Naměřené hodnoty 39

4.6 Oblast optimalizace 39

4.7 Výpočet nákladů 40

4.8 Obráběcí nástroj 42

4.9 Výpočet optimálních hodnot 43

5 Porovnání navržené a původní varianty 44

5.1 Celkové výrobní náklady 44

6 Závěr 45

7 Použitá literatura 46

8 Seznam příloh 47

Seznam zkratek a symbolů

$\boldsymbol{a_p}$	mm	hloubka řezu
$\boldsymbol{C_E}$	$Kč$	cena energie
$\boldsymbol{c_d}$	$Kč$	cena destičky
$\boldsymbol{C_{tn}}$	$Kč$	cena tělesa nástroje
$\boldsymbol{C_S}$	$Kč$	cena výrobního zařízení
$\boldsymbol{c_v}$	–	konstanta
$\boldsymbol{CFS}$	hod	časový fond stroje
$\boldsymbol{D_{(n)}}$	mm	průměr obrobku
$\boldsymbol{f}$	$ot \cdot min^{-1}$	otáčky
$\boldsymbol{F_c}$	N	řezná síla
$\boldsymbol{F_p}$	N	pasivní síla
$\boldsymbol{k_c}$	–	přirážka směnového času
$\boldsymbol{k_{Fc}}$	–	empirická konstanta
$\boldsymbol{k_r}$	–	poměr délky obrábění a délky automatického chodu
$\boldsymbol{k_{ut}}$	–	koeficient údržby tělesa
$\boldsymbol{k_{us}}$	–	koeficient údržby stroje
$\boldsymbol{k_{vs}}$	–	koeficient využití stroje
$\boldsymbol{L_O}$	mm	vzdálenost působiště řezných sil od sklíčidla
$\boldsymbol{m}$	–	konstanta řezivosti
$\boldsymbol{M_O}$	Nm	ohybový moment
$\boldsymbol{M_{Op}}$	$Kč$	mzda operátora včetně odvodů
$\boldsymbol{M_{O_{max}}}$	Nm	maximálně přípustný ohybový moment
$\boldsymbol{M_z}$	$Kč$	mzdy zaměstnanců za rok 2015
$\boldsymbol{N}$	$Kč$	celkové náklady
$\boldsymbol{N_c}$	$Kč$	celkové náklady za rok 2015
$\boldsymbol{N_{HS}}$	$Kč \cdot hod^{-1}$	hodinové náklady na provoz stroje

$\boldsymbol{N_n}$	$Kč$	náklady na nástroj vztažené na operační úsek
$\boldsymbol{N_{nT}}$	$Kč$	náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost břitu
$\boldsymbol{N_s}$	$Kč$	náklady na strojní práci na operační úsek
$\boldsymbol{N_{sm}}$	$Kč \cdot min^{-1}$	náklady na strojní práci na operační úsek na jednotku času
$\boldsymbol{N_{vn}}$	$Kč$	náklady na výměnu nástroje na operační úsek
$\boldsymbol{N_{vnm}}$	$Kč \cdot min^{-1}$	náklady na výměnu nástroje na operační úsek na jednotku času
$\boldsymbol{O_s}$	$Kč$	odpis stroje
$\boldsymbol{P_c}$	W	řezný výkon
$\boldsymbol{P_e}$	W	výkon elektromotoru stroje
$\boldsymbol{RNS}$	%	režijní náklady střediska
$\boldsymbol{sm}$	–	směnnost
$\boldsymbol{s_b}$	–	součinitel využití destiček
$\boldsymbol{T}$	min	trvanlivost
$\boldsymbol{t_{As}}$	min	strojní čas
$\boldsymbol{t_u}$	min	čas operačního úseku
$\boldsymbol{t_{vn}}$	min	čas na výměnu nástroje
$\boldsymbol{T_{optN}}$	min	optimální trvanlivost břitu z hlediska nákladů
$\boldsymbol{T_{optZ}}$	min	optimální trvanlivost břitu z hlediska zisku
$\boldsymbol{T_{optP}}$	min	optimální trvanlivost břitu z hlediska produktivity
$\boldsymbol{T_{pův}}$	min	původní trvanlivost břitu
$\boldsymbol{U}$	$cm^3 \cdot min^{-1}$	úběr materiálu
$\boldsymbol{v_c}$	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost
$\boldsymbol{v_{c_{opt}}}$	$m \cdot min^{-1}$	optimální řezná rychlost
$\boldsymbol{v_{c_{pův}}}$	$m \cdot min^{-1}$	původní řezná rychlost
$\boldsymbol{x_{Fc}}$	–	empirická konstanta
$\boldsymbol{x_v}$	–	empirická konstanta
$\boldsymbol{y_{Fc}}$	–	empirická konstanta
$\boldsymbol{y_v}$	–	empirická konstanta

z_b	–	počet břitů
z_d	–	počet destiček v nástroji
z_{Fc}	–	empirická konstanta
z_u	–	předpokládaný počet upnutí
z_v	–	počet výměn nástroje
η	–	účinnost stroje

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Trendy vývoje nástrojových materiálů [2] 15
Obr. 2.2. Silové poměry při upnutí v tříčelisťovém sklíčidle [1].....24
Obr. 2.3 Oblast vhodného utváření třísek [4] 25
Obr. 2.4 Nahrazení oblasti vhodného utváření třísek soustavou úseček [4] 25
Obr. 2.5 Příklad oblasti přípustného řešení [1].....26
Obr. 3.1 Rozdělení řídicích systémů pro adaptivní optimalizaci [4] 29
Obr. 3.2 Mezní systémy ACC [4].....30
Obr. 3.3 Optimalizační systémy ACO-S [4] 30
Obr. 4.1 Logo společnosti [5] 32
Obr. 4.2 Model součásti.....33
Obr. 4.3 Hanwha XD32H [7].....35
Obr. 4.4 Kinematika dlouhotočného automatu [9] 36
Obr. 4.5 Destička WNMG 06T304 [10] 42

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Koeficient časového využití stroje [1] 18
Tab. 2.2 Přibližné hodnoty empirických konstant [1] 19
Tab. 4.1 Vlastnosti vyráběné součásti 33
Tab. 4.2 Chemické složení [6] 34
Tab. 4.3 Mechanické vlastnosti [6] 34
Tab. 4.4 Parametry stroje Hanwha XD32H [7] 37
Tab. 4.5 Výrobní postup 38
Tab. 4.6 Počet výměn nástrojů 39
Tab. 4.7 Parametry zvolené operace 39
Tab. 4.8 Hodnoty výrobního zařízení 40
Tab. 4.9 Parametry břitové destičky [10] 42
Tab. 4.10 Parametry řezného nástroje 42
Tab. 5.1 Porovnání navržené a původní varianty 44

1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá problematikou optimalizace řezných podmínek třískového obrábění v podniku. Cílem této práce je optimalizace procesu obrábění u součásti, která tvoří stálou část výrobního portfolia firmy.

V první části rozeberu problematiku optimalizace řezných podmínek, v následující části se zaměřím na konkrétní optimalizační úkol. Nejprve se budu zabývat současným stavem výroby, včetně popisu výrobního zařízení. Dalším krokem bude výpočtem stanovit optimální řezné podmínky a částí poslední bude porovnání a zhodnocení navržené varianty.

Cílem této bakalářské práce by měl být návrh změn technologických podmínek, především řezné rychlosti, které budou ve výsledku znamenat snížení výrobních nákladů. Navržené řešení by mělo být také vodítkem pro další optimalizační procesy v podniku.

2 Optimalizace obráběcího procesu

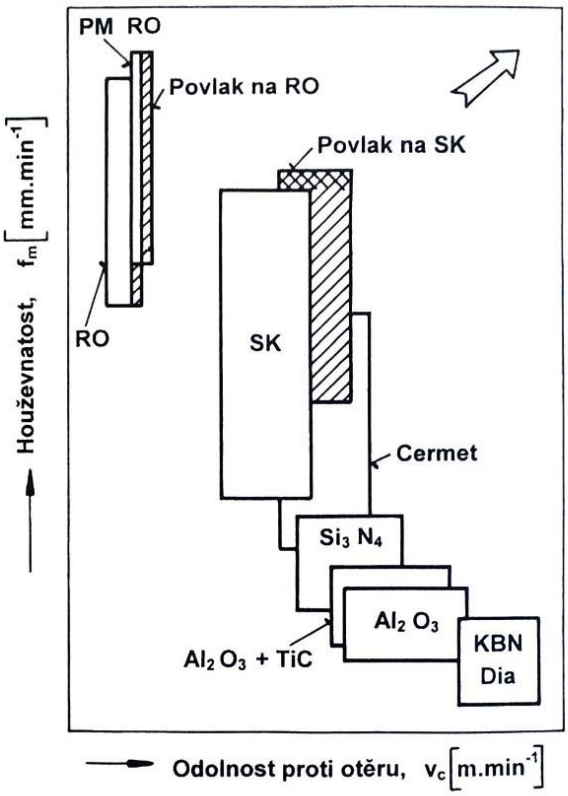
Rostoucí konkurence na světovém trhu tlačí všechny subjekty k minimalizaci výrobních nákladů. Strojírenská technologie se podílí asi na 40% ceny finálního produktu, přičemž více než 30% pracnosti připadá na vrub technologii obrábění. Z uvedených čísel je patrné, že jakákoliv nehospodárnost v průběhu výrobního procesu se značně promítne do koncové ceny a tím i do zisku podniku.

Volba optimálních pracovních podmínek je základním krokem k minimalizaci výrobních nákladů. Pod pojem optimální pracovní podmínky spadají veškeré faktory vstupující do obráběcího procesu, jako jsou: volba řezného materiálu a jeho geometrie, řezné prostředí, doba obrábění břitem, řezné podmínky a další. Optimalizace obráběcího procesu se často přehlíží s konstatováním, že existují jiné, zásadnější zdroje úspor. Je nutné si ovšem uvědomit, že s rostoucí cenou moderních obráběcích strojů, rostou i náklady na strojní práci a nevhodně zvolené řezné podmínky mohou tudíž zásadním vlivem ovlivňovat náklady na výrobu. [1]

2.1 Optimalizace obráběcího nástroje

Současná nabídka na trhu s řeznými nástroji je natolik široká, že nabízí velký prostor pro volbu vhodných řezných nástrojů. Ve velké míře se využívají nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, které poskytují možnost rychlé výměny opotřebovaného břitu a odpadají tak náklady spojené s odstávkou výroby v průběhu výměny nástroje. K dispozici je široká škála materiálů, tvarů, geometrií i lamačů třísek.

Na obráběcí nástroj je v průběhu řezu kladeno mnoho nároků. Musí vykazovat vysokou tvrdost a pevnost při pracovních teplotách, aby odolal opotřebení a deformaci břitu, zároveň musí vykazovat vysokou houževnatost eliminující křehké porušení břitu, chemickou stálost, která zajišťuje odolnost proti difuzi a oxidaci a v neposlední řadě také odolnost proti teplotním rázům.



Obr. 2.1 Trendy vývoje nástrojových materiálů [2]

Z obr. 1 je patrné, že materiál, který by splňoval všechna uvedená kritéria, prozatím není v našich silách vyrobit, a proto je každý použitý materiál jen jakýmsi kompromisem uvedených vlastností. Ve vývoji nástrojových materiálů představuje významný posun technologie povlakování. Ta nám umožní relativně houževnatý materiál odolávající křehkému porušení břitu schovat pod tenkou vrstvu povlaku, který naopak zajistí tvrdou, otěruvzdornou a chemicky stálou povrchovou vrstvu. [2]

Pro použití ve strojírenské výrobě se hojně využívají nástroje ze slinutých karbidů. Oproti rychlořezným ocelím vykazují nižší houževnatost, jejich kladem je ale vyšší tvrdost, odolnost proti otěru, a tím pádem i možnost využít vyšších řezných rychlostí. V rámci této práce jsou používány destičky ze slinutých karbidů.

2.2 Optimalizace řezných podmínek

Řezné podmínky ovlivňují ekonomiku obrábění a jejich špatná volba vede k nehospodárné výrobě. Volba řezných podmínek se zpravidla provádí pomocí normativů výrobců řezných nástrojů, avšak tyto hodnoty jsou pouze orientační a často velmi vzdálené od hodnot ideálních. Výpočet optimálních řezných parametrů je vázán na konkrétní optimalizační úlohu a nelze ho používat pro obecné řešení.

Optimalizační výpočty se nejčastěji používají při nasazení jednotlivých nástrojů, v případě složitějších postupů se vychází z této jednonástrojové optimalizace. V rámci této práce se bude nadále uvažovat jednonástrojová optimalizace. [1]

2.3 Skladba nákladů

Pro správné pochopení problematiky optimalizace je nutná přesná představa o složení nákladů, které se podílejí na výrobním procesu. Přímé náklady (přímé mzdy, přímý materiál) není problém přesně přiřadit k danému výkonu. Problém nastává u nepřímých, režijních nákladů. Pro optimalizační výpočty se nejčastěji pracuje s režijními náklady v podobě střediskových nákladů, které při správné alokaci dokážou postihnout velkou část výrobních nákladů. Pod pojmem střediskové náklady si můžeme představit: režijní materiál, nářadí a nástroje, odpisy strojů, režijní mzdy, sociální a zdravotní pojištění, energie, opravy a údržbu a mnoho dalších. [1]

2.4 Kritéria optimálnosti

Kritériem optimálnosti se rozumí princip, pomocí kterého budeme danou optimalizační úlohu řešit. Nejrozšířenější je kritérium minimálních výrobních nákladů. Na základě tohoto kritéria je řešena tato práce. Pro přehlednost budou popsána i další kritéria, se kterými se můžeme v praxi setkat.

2.4.1 Kritérium optimálnosti z hlediska výrobních nákladů

Jedním ze základních požadavků každého podniku je minimalizace výrobních nákladů. Z těchto požadavků vychází kritérium minimálních výrobních nákladů. Používá se ve většině případů, pokud není nutné použít jiné kritérium, např. kritérium maximální produktivity. [1]

Neuvažují-li se nákladové položky, které nejsou závislé na řezných podmínkách, výrobní náklady pro optimalizaci řezných podmínek jsou formulovány ve tvaru:

$$N = N_s + N_n + N_{vn} \tag{2.1.}$$

kde: N ..... jsou výrobní náklady na uvažovaný operační úsek v $K\check{c}$

N_s ..... náklady na strojní práci na operační úsek v $K\check{c}$

N_n..... náklady na nástroje vztažené na operační úsek v $K\check{c}$

N_{vn} .... náklady na výměnu nástroje nebo výměnné břitové destičky vztažené na operační úsek v $K\check{c}$

Výrobní náklady lze vyjádřit pomocí následujícího vztahu:

$$N_s = t_{As} \cdot N_{sm} = t_{As}\left[k_c \frac{M_o}{60}\left(1 + \frac{RNS}{100}\right) + \frac{N_{hs}}{60}\right] \tag{2.2.}$$

kde: t_{As} ..... strojní čas v min

N_{sm}.... jsou náklady na strojní práci v $K\check{c}/min$

k_c ..... přirážka směnového času (obvykle 1,11 až 1,15)

M_o ..... mzda operátora včetně odvodů v $K\check{c}/hod$

RNS... režijní náklady střediska v $\%$

N_{hs} .... hodinové náklady na provoz stroje v $K\check{c}/hod$

Vztah je nutné upravit podle konkrétních podmínek, např. při vícestrojové obsluze, kdy je možné uvažovat rozdělení mzdy operátora na jednotlivé, současně obsluhované stroje. [1]

Hodinové náklady na provoz stroje lze vyjádřit:

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E \tag{2.3.}$$

Kdy odpis stroje se vyjádří jako:

$$O_s = \frac{C_s}{z_s \cdot CFS \cdot sm \cdot k_{vs}} \tag{2.4.}$$

kde: O_s ..... je odpis stroje v $Kč/hod$

C_s ..... cena stroje v $Kč$

C_E ..... cena elektrické energie v $Kč/hod$

z ..... životnost stroje v $rocích$

CFS ... časový fond stroje hod/rok a směnu

sm ..... směnnost

k_{us} ..... koeficient oprav a údržby stroje

k_{vs} ..... koeficient časového využití stroje

Koeficient časového využití stroje se stanovuje z dlouhodobého průměru, případně z předpokladu o vytížení stroje. Přibližné hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Koeficient oprav a údržby stroje je dán podílem součtu ceny stroje a předpokládané částky na opravy, případně údržbu stroje za dobu jeho životnosti a ceny stroje. [1]

Tab. 2.1 Koeficient časového využití stroje [1]

Druh výroby	$\boldsymbol{k_{vs}}$
Hromadná a velkosériová výroba	0,8
Programově řízené stroje, obráběcí centra	0,65 až 0,75
Konvenční malosériová výroba	0,50 až 0,65

Náklady na nástroje s výměnnými břitovými destičkami, které se nepřeostřují:

$$N_{nT} = \frac{c_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{c_{tn}}{z_u} \qquad (2.5.)$$

kde: c_d ..... cena břitové destičky v $Kč$

c_{tn} ..... cena tělesa nástroje v $Kč$

z_d ..... počet břitových destiček v nástroji

z_u ..... předpokládaný počet upnutí destiček za životnost tělesa nástroje

s_b..... součinitel využití břitových destiček

k_{ut}..... koeficient údržby tělesa nástroje

Empirické konstanty byly určeny statistickými metodami, jejich hodnoty jsou ovlivněny technologickou kázní, křehkými lomy destiček, poškozením nového břitu nebo odcházející třískou. [1]

Tab. 2.2 Přibližné hodnoty empirických konstant [1]

Podmínky obrábění	z_u	s_b	k_{ut}
Lehké	400 až 600 (i více)	0,95	0,05
Střední	200 až 400	0,90	0,025
Těžké	200	0,80	0,40
Velmi těžké	100	0,70	0,60

Náklady na výměnu nástroje lze vyjádřit ve tvaru:

$$N_{vn} = t_{vn} \cdot z_v \cdot N_{vnm} \; [Kč \cdot min^{-1}] \qquad (2.6.)$$

kde: N_{vn} .... náklady na výměnu nástroje vztažené na operační úsek

N_{vnm}.. náklady na výměnu nástroje v $Kč/min$

t_{vn} ..... čas na výměnu nástroje v min

z_v..... počet výměn nástroje, vztažený na jeden operační úsek

Počet výměn z_v lze vyjádřit jako:

$$z_v = \frac{t_{As}}{T} k_r \tag{2.7.}$$

kde: k_r ..... poměr délky obrábění a délky automatického chodu

T..... trvanlivost nástroje v min

Kritérium minimálních výrobních nákladů získáme za předpokladu, že výrobní náklady na daný operační úsek jsou minimální:

$$N = N_s + N_n + N_{vn} = min \tag{2.8.}$$

V některých zdrojích se taktéž uvažuje možnost optimalizace z hlediska ziskovosti. Formulace kritéria je však analogická jako u kritéria minimálních výrobních nákladů a optimalizace vede ke stejným výsledkům jako u kritéria minimálních výrobních nákladů. [1]

2.4.2 Kritérium optimálnosti z hlediska produktivity

Hlavním důvodem k optimalizaci obráběcího procesu je nejčastěji hledisko ekonomické. V drtivé většině případů tomu tak skutečně je, ale nastávají i situace, kdy není ekonomika hlavním důvodem. Například pokud je v podniku zakázka, kterou je obtížné realizovat ve stanoveném termínu, a hrozí finanční postihy, je vhodné počítat podle kritéria produktivity. Toto kritérium nám umožní stanovit takový proces, který využívá plnou možnou kapacitu výrobního procesu i za cenu zvýšených výrobních nákladů. [1]

Kritérium maximální produktivity lze formulovat jako minimální čas na obrobení jednoho operačního úseku:

$$t_u = t_{As} + t_{vn} z_v \tag{2.9.}$$

kde: t_u..... je čas operačního úseku v min

2.4.3 Kritérium optimálnosti z hlediska úběru materiálu

Toto kritérium vychází z předpokladu, že optimální řezné podmínky jsou takové, kdy dochází k nejvyššímu úběru materiálu.

Matematicky se vyjádří kritérium maximálního úběru ve tvaru:

$$U = a_p \cdot f \cdot v_c = max \tag{2.10.}$$

kde: U ..... úběr materiálu v cm^3/min

v_c..... řezná rychlost v m/min

a_p ..... hloubka řezu v mm

Řezná rychlost je funkcí otáček:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{(n)} \cdot n}{10^3} \tag{2.11.}$$

kde: $D_{(n)}$ ... průměr obrobku v mm

Po dosazení do vztahu 2.11 do rovnice 2.10 dostáváme vztah:

$$U = D_{(n)} \cdot n \cdot a_p \cdot f \cdot n \cdot 10^{-3} = max \tag{2.12.}$$

2.5 Omezující podmínky optimalizace obráběcího procesu

Každý výrobní proces je ovlivněn celou řadou parametrů, které určují jeho omezující podmínky. Všechny omezující podmínky je možné matematicky formulovat jako nerovnice, s výjimkou komplexního Taylorova vztahu, který je rovnicí. Omezující podmínky jsou dány obráběcím strojem, nástrojem, řezným prostředím a také požadovanou kvalitou výsledného povrchu. V následujícím výčtu jsou uvedeny některé z omezujících podmínek. [1]

2.5.1 Omezení z hlediska výkonu

Výkon stroje je jedna z určujících omezujících podmínek, zvláště pak při hrubování. Výrobci obráběcích strojů popisují charakteristiky výkonů strojů závislostí výkonu, nebo krouticího momentu, na otáčkách vřetena [1].

Omezení konstantním průběhem výkonu je dáno vztahem:

$$P_c \leq P_e \eta \tag{2.13.}$$

kde: P_c ..... řezný výkon ve W

P_e ..... výkon elektromotoru ve W

η ..... mechanická účinnost stroje

Řezný výkon je funkcí řezné síly:

$$60 \cdot P_c = F_c \cdot v_c \tag{2.14.}$$

kde: F_c ..... řezná síla v N

Pro případ soustružení, kterému se věnuje tato práce lze řeznou sílu vyjádřit jako:

$$F_c = k_{Fc} \cdot {a_p}^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot {v_c}^{z_{Fc}} \tag{2.15.}$$

kde: $k_{Fc}, x_{Fc}, y_{Fc}, z_{Fc}$ jsou empirické konstanty

Závislost řezné síly na řezné rychlosti je obecně velmi malá. Zároveň se předpokládá použití omezeného rozsahu řezné rychlosti v závislosti na použitý řezný materiál, a také se předpokládá určitá bezpečnost při stanovení konstanty k_{Fc}. S přihlédnutím ke všem těmto faktům, se neuvažuje vlivu řezné rychlosti. Dosazením za řeznou rychlost z rovnice 2.11 získáme omezující podmínku ve tvaru: [1]

$$a_p{}^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot n \leq \frac{10^3 \cdot 60 \cdot P_e \eta}{k_{Fc} \cdot \pi \cdot D} \qquad (2.16.)$$

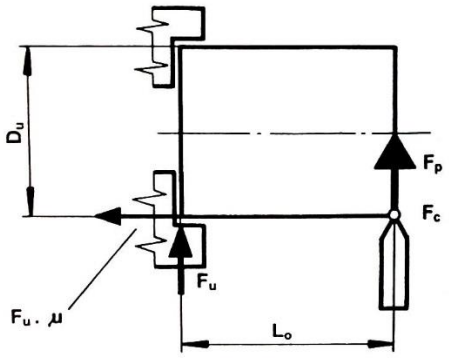
U moderních obráběcích strojů jsou výkonové charakteristiky v lineárním i nelineárním tvaru. Lineární průběh je zpravidla pouze v úzkém spektru otáček. Pro popsání charakteristiky v celém rozsahu otáček je třeba zvolit jinou formulaci. Konkrétní podoba výkonové charakteristiky se liší pro každý stroj a přesné informace se získají od výrobce stroje. [1]

2.5.2 Omezení z hlediska krouticího momentu

Omezení krouticím momentem má výrazný vliv na upnutí součásti, v extrémních případech může dojít i k protočení součásti ve sklíčidle. U sklíčidel dochází při vysokých otáčkách, vlivem odstředivé síly, k rozevírání čelistí a zmenšováním upínací síly. Speciální sklíčidla jsou konstruována tak, aby potlačila tento jev. I přes to je však nutné s vlivem odstředivé síly počítat. [1]

2.5.3 Omezení z hlediska ohybového momentu

Namáhání ohybovým momentem je nejvíce patrné při jednostranném upnutí obrobku ve sklíčidle. Pokud je velikost ohybového momentu vyšší, než je dovolená hranice, může dojít k vytržení obrobku z upínacího zařízení. Průběh sil při upnutí na tříčelisťovém sklíčidle je zobrazen na následujícím obrázku [1]



Obr. 2.2. Silové poměry při upnutí v tříčelisťovém sklíčidle [1]

Omezující podmínka má tvar:

$$M_o \leq M_{o_{max}} \tag{2.17.}$$

kde: M_o ..... ohybový moment v Nm

$M_{o_{max}}$ .... maximálně přípustný ohybový moment v Nm

Maximální ohybový moment je funkcí průměru obrobku, třecí síly a síly upnutí:

$$M_{o_{max}} = \frac{0{,}75 \cdot \mu \cdot D_u \cdot F_{uo}}{10^3} \tag{2.18.}$$

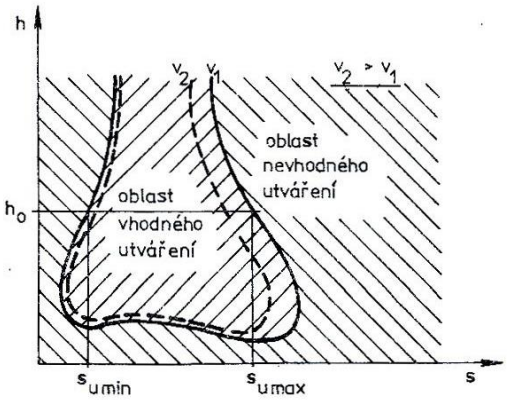
Moment namáhající součást lze vyjádřit pomocí řezné síly F_c a pasivní síly F_p:

$$M_o = \frac{L_o \sqrt{{F_c}^2 + {F_p}^2}}{10^3} \tag{2.19.}$$

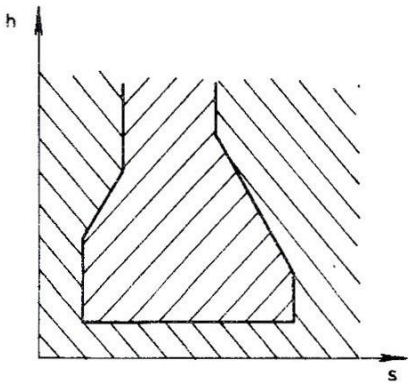
kde: L_o ..... je vzdálenost působiště řezných sil od sklíčidla v mm

2.5.4 Omezení dané vhodným utvářením třísek

Při použití technologického procesu, který zahrnuje stroje bez přímého dohledu, je nutné zajistit, aby docházelo ke vhodnému utváření třísek. Nebezpečí je především u dlouhých třísek, které se mohou zamotat okolo nástroje a způsobit tak vážné škody. Na druhou stranu se nedá říct, že nejvhodnější třísky jsou krátké, protože u velmi krátkých třísek dochází ke snížení trvanlivosti nástroje vlivem mikrotrhlin na řezné hraně. [3]



Obr. 2.3 Oblast vhodného utváření třísek [4]



Obr. 2.4 Nahrazení oblasti vhodného utváření třísek soustavou úseček [4]

Pro stabilní proces je nutné zajistit, aby se utvořené třísky nedostávaly zpět pod břit a nepoškodily tak břit samotný nebo obrobený povrch. Dalším požadavkem je nezahlcení pracovního prostoru, které by mohlo způsobit komplikace při automatické výměně nástroje.

Pro každý nástroj a druh obráběného materiálu byly experimentálně zjištěny oblasti vhodného utváření třísek. Vhodné oblasti jsou znázorněny v grafické podobě závislosti hloubka řezu – posuv a to pro určitý rozsah řezné a materiál. Při použití optimalizačního softwaru se využívá znázornění v podobě úseček. [4]

Oblasti vhodného utváření třísek jsou zpravidla součástí katalogů výrobců. Pokud známy nejsou je nutné je experimentálně ověřit. Bez jejich znalostí nelze bezpečně volit optimální řezné podmínky. [4]

2.5.5 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

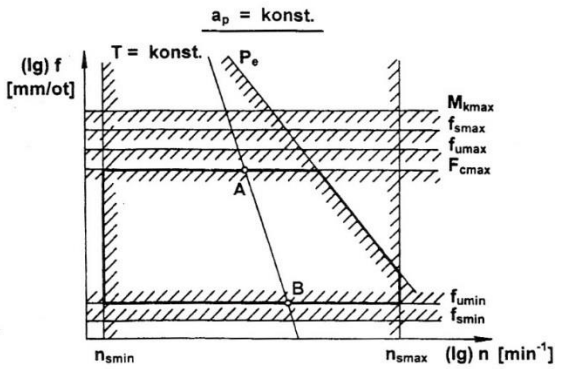
Na rozdíl od ostatních omezujících podmínek je komplexní Taylorův vztah rovnicí, která obsahuje trvanlivost břitu nástroje. Této skutečnosti se využívá při matematickém postupu optimalizace. Obrobitelnost materiálu, řezivost nástroje a vliv řezného prostředí jsou spolu těsně propojeny. Protože tyto parametry není možné vyjádřit pomocí základních veličin, používá se pro jejich interpretaci tzv. komplexní Taylorův vztah: [1]

$$v_c = \frac{c_v}{{a_p}^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} \tag{2.20.}$$

kde: c_v, x_v, y_v, m jsou empirické konstanty

2.5.6 Oblast přípustných řešení

Společná oblast, kde se protínají všechny omezující podmínky dané optimalizační úlohy, tvoří oblast přípustných řešení. Diagram je tvořen souřadným systémem (lg)n – (lg)f, přičemž silně ohraničená část představuje oblast všech možných kombinací n -f v dané optimalizační úloze.



Obr. 2.5 Příklad oblasti přípustného řešení [1]

Pokud uvažujeme konstantní trvanlivost nástroje, zobrazí se komplexní Taylorův vztah jako přímka. U znázorněného případu na obr. 2.5 je to úsečka A – B. Podoba diagramu oblasti přípustných řešení je individuální pro každý soubor omezujících podmínek.

2.6 Optimální trvanlivost obráběcího nástroje

Při hledání optimálních řezných podmínek nesmíme opomenout jejich provázanost s optimální trvanlivostí břitu řezného nástroje. Pro stanovení optimálních podmínek je tedy vhodné použít komplexního výpočtu, který zaručí nejvhodnější řešení. [1]

2.6.1 Optimální trvanlivost břitu z hlediska výrobních nákladů

Pro výpočet optimální trvanlivosti z hlediska minimálních výrobních nákladů se vychází z nákladové funkce. Jelikož se jedná o extrém, derivace se položí nule a výsledný vztah má podobu: [1]

$$T_{optN} = \frac{t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}}{N_{sm}} \cdot k_r \cdot (m - 1)\ [min] \tag{2.21.}$$

2.6.2 Optimální trvanlivost břitu z hlediska maximální produktivity

Vztah pro výpočet optimální trvanlivosti z hlediska maximální produktivity se stanoví analogicky jako pro výpočet optimální trvanlivosti z hlediska minimálních výrobních nákladů: [1]

$$T_{optP} = t_{vn} \cdot k_r \cdot (m - 1)\ [min] \tag{2.22.}$$

2.6.3 Optimální trvanlivost břitu z hlediska maximálního zisku

Výpočet optimální trvanlivosti z hlediska maximálního zisku je shodný s trvanlivostí z hlediska minimálních výrobních nákladu: [1]

$$T_{optZ} = T_{optN} \tag{2.23.}$$

3 Adaptivní optimalizace

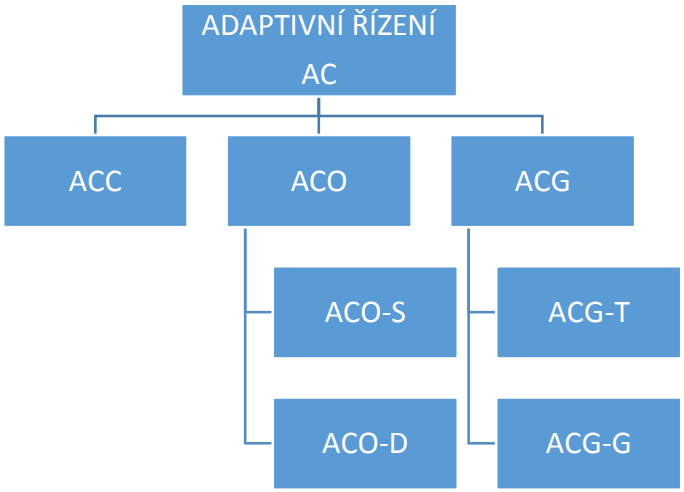
Principem adaptivních systémů obráběcích strojů je okamžité stanovení optimálních řezných podmínek obrábění, které reagují na aktuální stav probíhajícího obráběcího procesu. Optimální podmínky jdou stanoveny na základě matematicko-optimalizačního model, který je sestaven z omezujících podmínek a kriteriální funkce, do kterých jsou dosazovány hodnoty zjištěné snímači. [4]

Obráběcí proces je neustále ovlivňován řadou rušivých vlivů. Úkolem adaptivního řízení je tyto vlivy zachytit a potlačit tak, aby byl zajištěn optimální stav obrábění. Těmito vlivy může být obrobitelnost materiálu obrobku, hloubka řezu, otupení nástroje apod.

Systém snímačů regulačních veličin dodává adaptivnímu systému informace o právě probíhajícím obráběcím procesu. Snímat se může příkon hlavního elektromotoru, složky řezné síly, výkon na hlavním vřetenu apod. Obdobně jako u konvenční optimalizace se musí adaptivní systém pohybovat v pásmu omezujících podmínek (maximální dovolený krouticí moment na vřetenu, výkon elektromotoru, maximální přípustnou tangenciální složku řezné síly apod.) [4]

Základní výhody adaptivního řízení obráběcího procesu ve srovnání s konvenční optimalizací jsou: [4]

1. Dokonalejší optimalizace podmínek obrábění
2. Zmenšení nebezpečí vylomení břitu nástroje
3. Zastavení stroje při náhlém přetížení
4. Eliminace samobuzených kmitů
5. Rozměrová kompenzace opotřebení nástroje
6. Automatické sledování opotřebení nástroje
7. Snížení počtu zmetků a další



Obr. 3.1 Rozdělení řídicích systémů pro adaptivní optimalizaci [4]

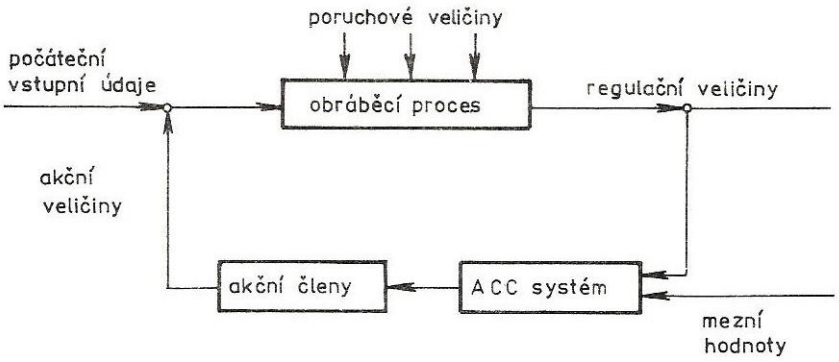
3.1 Rozdělení řídicích systémů pro adaptivní optimalizaci

- ACC (Adaptive control constraint) ..... AC systémy mezní
- ACO (Adaptive control optimization) ..... AC systémy optimalizační
  - ACO-S..... ACO systémy se statickou optimalizací
  - ACO-D .... ACO systémy s dynamickou optimalizací
- ACG (Adaptive control geometry) ..... AC systémy geometrické
  - ACG-T..... ACG systémy, jejichž akční veličiny jsou technologického charakteru
  - ACG-G .... ACG systémy, jejichž akční veličiny jsou geometrického charakteru

Cílem ACC a ACO systémů je kvantitativní stránka procesu s případným zohledněním kvalitativních parametrů. Zaměřují se na dosažení minimálních výrobních nákladů nebo maximální produktivity. Naopak cílem ACG systémů je zajištění kvalitativní stránky procesu s přihlédnutím k ekonomické stránce. Řídí se tak dosažením požadované rozměrové a tvarové přesnosti, drsnosti plochy apod. [4]

3.1.1 Mezní systémy ACC

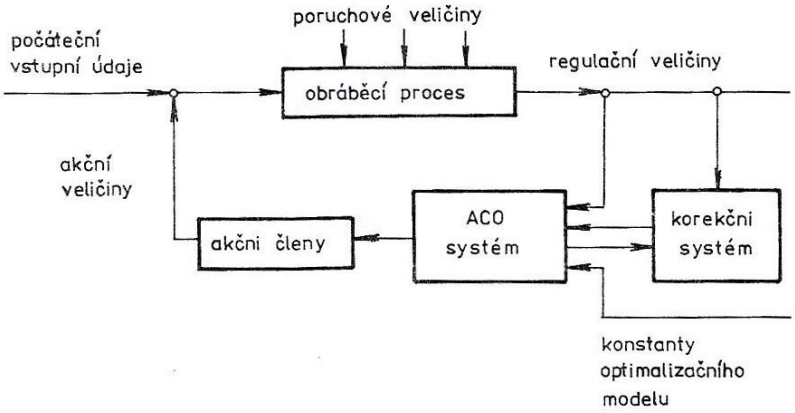
Mezní adaptivní systémy optimalizují akční veličiny podle kritéria maximálního úběru při respektování daných omezujících podmínek.



Obr. 3.2 Mezní systémy ACC [4]

3.1.2 Optimalizační systémy ACO

U adaptivních systémů ACO dochází k regulaci řezné rychlosti ve vazbě na posuv, resp. hloubce řezu podle kritéria minimálních nákladů, případně maximální produktivity. Regulace je podstatně složitější než v předchozím případě a je nutné ji realizovat kalkulací na počítači, který je součástí řídicího systému stroje. Jako regulační (řídící) veličiny se používají příkon elektromotoru, krouticí moment apod. [4]



Obr. 3.3 Optimalizační systémy ACO-S [4]

3.1.2.1 Adaptivní systémy ACO-S

Obráběcí proces je optimalizován podle matematického modelu s pevně danými empirickými konstantami. Jedná se o analogii optimalizace před obráběním, počet konstant je však redukován a přidávají se k němu aktuální hodnoty obráběcího procesu. Jako regulační veličiny se používají příkon elektromotoru, krouticí moment, teploty řezání, tangenciální složky řezné síly a opotřebení materiálu. [4]

3.1.2.2 Adaptivní systémy ACO-D

Obdobně jako u systému ACO-S je obráběcí proces řízen podle matematického modelu s konstantami. Na rozdíl od předchozího modelu však tyto konstanty mohou být korigovány na základě hodnot regulačních veličin. Jako regulační veličiny se používají příkon elektromotoru, krouticí moment, teploty řezání, tangenciální složky řezné síly a opotřebení materiálu. [4]

3.1.3 Geometrické systémy ACG

Geometrické adaptivní systém zajišťují požadovanou přesnost nebo drsnost obrobené plochy při uvažování ekonomického optimalizačního kritéria. Jako regulační veličiny se užívají rozměr a drsnost obrobené plochy, opotřebení nástroje, vibrace a složky řezné síly.

4 Výpočet optimálních řezných podmínek

4.1 Popis společnosti

Výroba součásti probíhá v rámci podniku Carboservis, s.r.o. Benátky nad Jizerou. Společnost byla založena v březnu 2001 jako dceřiná firma společnosti Carborundum Electrite, a.s. Benátky nad Jizerou, z které byly převzaty nástrojařské, servisní a další technické činnosti. V závěru roku 2002 došlo k převodu obchodního podílu na jediného vlastníka a tím k úplnému osamostatnění společnosti. [5]

Obr. 4.1 Logo společnosti [5]

V současné době firma zaměstnává více než 25 kvalifikovaných pracovníků. Základní kapitál společnosti je 1 000 000 Kč, roční obrat firmy přesahuje 26 mil. Kč. Mezi významné zákazníky společnosti patří Škoda Auto, a.s., Carborundum Electrite, a.s, Tatra, a.s, Sklostroj Turnov CZ, s.r.o. a mnohé další.

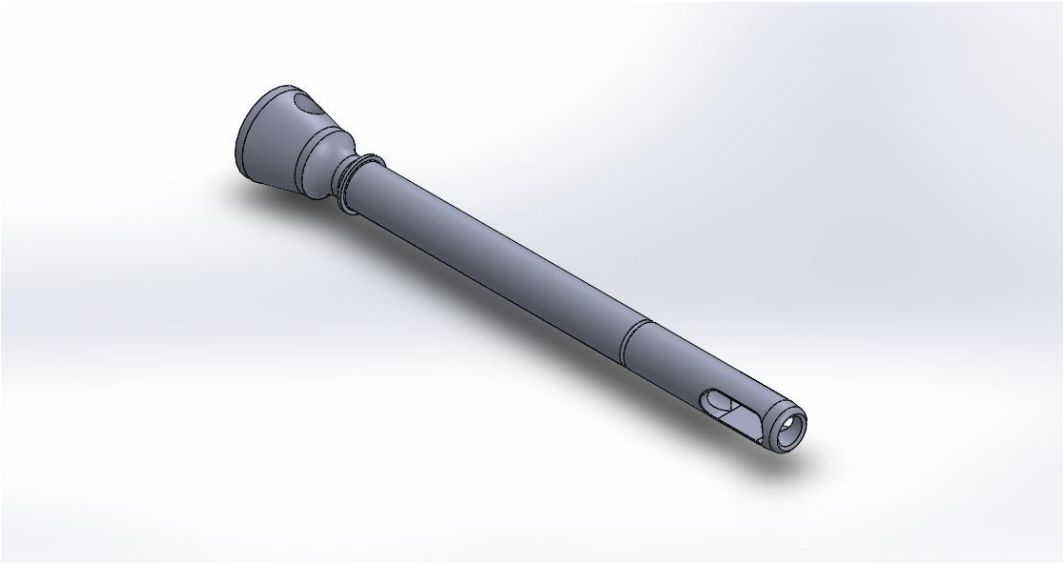
Společnost Carboservis, s.r.o. se nejvíce zaměřuje na:

- sériovou výrobu rotačních dílů
- výrobu forem, lisovacích přípravků a nářadí
- servis a opravy lisů, obráběcích strojů a dalších součástí
- výrobu kovových konstrukcí, dopravníků, palet a regálů
- drobné zakázkové strojní, zámečnické i klempířské práce

4.2 Vyráběná součást

Vyráběná součást je ocelový trn pro zajištění tažného zařízení. Materiál použitý pro výrobu 100Cr6+AC v podobě tyčí o průměru 22 mm a délce 3 m. Tyče jsou uloženy v podavači, který je přímo spojen s výrobním zařízením.

Po dokončení obráběcího procesu jsou jednotlivé díly zkontrolovány výstupní kontrolou a následně jsou odeslány na tepelné zpracování kalením. Po tepelném zpracování následuje povrchová úprava v podobě zinkování. Tepelné zpracování a povrchovou úpravu zajišťují externí subjekty.



Obr. 4.2 Model součásti

Tab. 4.1 Vlastnosti vyráběné součásti

Hmotnost součásti	0,09 Kg
Materiál	100Cr6+AC
Počet kusů/rok	100 000

4.2.1 Materiál součásti

Ocel 100Cr6+Ac (1.2067) je středně legovaná, vysoce otěruvzdorná, kalitelná v oleji. Ocel je legována chromem, případně chromem a manganem, křemíkem a hliníkem. Na ocel je kladen velký požadavek, co se týká mikročistoty materiálu. Sleduje se hlavně velikost a tvar nekovových vměstků, zejména sirníků a oxidů, hlavně Al2O3. [6]

Tab. 4.2 Chemické složení [6]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr
Min	0,95	0,15	0,25			1,35
Max	1,10	0,35	0,45	0,030	0,030	1,65

Tab. 4.3 Mechanické vlastnosti [6]

Mez kluzu R_e [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_5 [%]	Tvrdost HB
441	628 - 765	18	Max 225

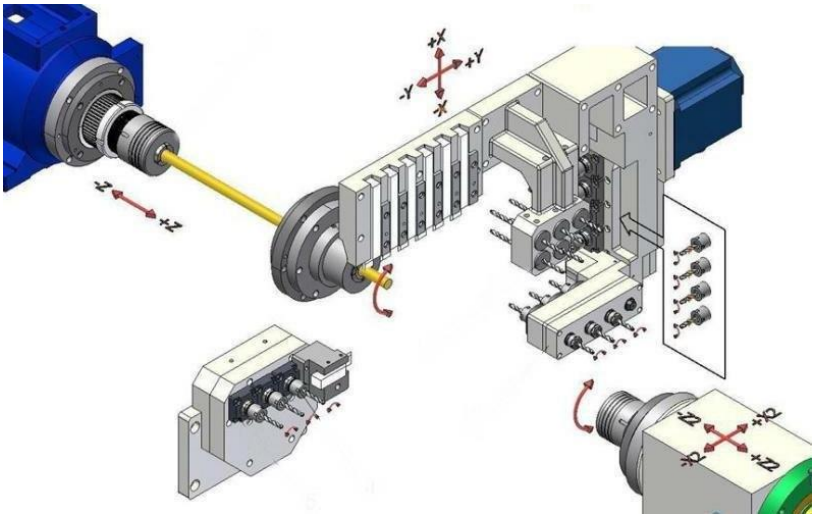
4.3 Výrobní zařízení

Výroba probíhá na dlouhotočném automatu Hanwha XD32. Dlouhotočný automat najde uplatnění především při obrábění malých součástí, v případě použitého je polotovar limitován průměrem 32 mm. Oproti standartnímu CNC soustruhu, který je možné použít pro obrábění součástí do maximálně trojnásobku jeho délky, je dlouhotočný automat limitován pouze rozměrem pracovního prostoru nebo délkou tyče.

Obr. 4.3 Hanwha XD32H [7]

Základním rozdílem v konstrukci je uložení vřeteníku. Zatímco u klasického CNC soustruhu je polotovar pevně usazen ve vřeteníku a pohyb vykoná nástrojový support, u dlouhotočného automatu se pohybuje celý vřeteník a to ve valivých hnízdech po lineárním vedení. Tento pohyb se nazývá zdvih vřeteníku. Obráběná délka není nijak limitovaná samotným zdvihem, jelikož ten je možné v průběhu obráběcího procesu i několikrát opakovat. [8]

Polotovar je uložen ve vodícím pouzdře, to svým tvarem připomíná kleštinu. Vodící pouzdro se může seřizovat buď mechanicky, nebo pneumaticky. Mechanicky se seřídí na průměr tyče tak, aby ji těsně obepínalo. Pro zajištění optimálního upnutí je důležitá kvalita použité tyče. Jelikož vodící pouzdro do jisté míry přebírá funkci lunety a částečně i upínače, jsou pro tento typ strojů doporučovány tyče o kvalitě h9 a vyšší. Pneumatické vodící pouzdro se používá v případech, kdy se upíná tyč nekruhového profilu. Pouzdro se programovatelnou M funkcí dokáže sevřít a otevřít či vést materiál. Princip samotného soustruhu je v obou případech stejný. [8]



Obr. 4.4 Kinematika dlouhotočného automatu [9]

Nástrojový support je umístěn na límci kolem vodícího pouzdra, u složitějších automatů zde může být supportů i několik. Pohyb držáků nástrojů je možný ve dvou osách, přičemž vzdálenost špičky břitové destičky nástroje vzhledem k vodícímu pouzdru zůstává konstantní. Tato vlastnost je jednou ze základních charakteristik dlouhotočných automatů. Samotný proces obrábění probíhá v těsné blízkosti místa upnutí, tím pádem je možné odebírat větší třísku než u běžného CNC soustruhu. Zatímco klasický soustruh musí požadovaný tvar zpracovat na několik třísek, dlouhotočný automat stejný tvar zvládne na jednu třísku. Z toho plyne další výhoda těchto soustruhů a tím je časová úspora, která je dána i samotným uložením nástrojů v supportu. Zatímco revolverová hlava CNC soustruhu musí po každé operaci odjet do bezpečné vzdálenosti a až tam provést výměnu nástroje, dlouhotočný automat provádí výměnu nástroje za chodu vřetene pouze přejetím nástrojového supportu do následující polohy. [8]

Vodící pouzdro je poháněné a přes soustavu řemenů udržuje shodné otáčky se samotným vřetenem. Zdvih vřeteníku se provádí bez nutnosti zastavení samotného vřetene, díky čemuž odpadá starost se zastavováním a následným roztáčením motorů. Z toho plyne další nesporná výhoda dlouhotočných automatů, čímž je energetická nenáročnost. Zatímco klasický CNC soustruh musí při obrábění několika kratších součástí po každém upíchnutí součásti zastavit vřeteno a posunout polotovar, dlouhotočný automat zvládá tento proces za chodu a vyhýbá se tak opakovanému brzdění a roztáčení motoru, které je energeticky velmi náročné. [8]

Dlouhotočné automaty jsou standardně vybaveny dvěma vřeteny, které umožňují přepínání obrobku za plných otáček. Nástrojové supporty jsou vybaveny poháněnými nástroji a umožňují řadu operací, včetně podélného, příčného nebo úhlového frézování, vrtání, odvalování apod. Konstrukční řešení je uspořádáno tak, aby bylo možné dílec obrobit na hotovo z obou stran, včetně všech dalších operací a to na jedno upnutí. [8]

Tab. 4.4 Parametry stroje Hanwha XD32H [7]

Točný průměr	mm	32
Točná délka	mm	320
Otáčky hlavního vřetene	ot/min	8000
Otáčky protivřetena	ot/min	7000
Výkon hlavního vřetene	kW	7,5
Výkon protivřetene	kW	5,5
Počet nástrojových poloh		14
Poháněné nástroje		2
Otáčky nástrojového support	ot/min	6000
Výkon nástrojového supportu	kW	1
Rozměr stroje	mm	4110 x 2170 x 1795
Hmotnost stroje	kg	4050

4.4 Výrobní postup

Tab. 4.5 Výrobní postup

Výkres	**PS V197-20-04-VR**		**Název**	Trn
			Materiál	100Cr6+Ac
OP:	**Pracoviště:**	**Popis:**		
10	**Sklad**	**KR 22**		**100Cr6+Ac**
20	**Hanwha XD32H**	**Hlavní vřeteno**		
		Zarovnání čela		
		Vrtání do čela Ø6,2 mm, hl. 32,2 mm		
		Hrubování dříku Ø22 na Ø11		
		Soustružit na čisto Ø11 na Ø10		
		Soustružit sražení		
		Frézování drážky 6,2 mm		
		Frézování sražení drážky		
		Soustružit zápich R0,5		
		Vrtat do hlavy Ø6,2 mm		
		Upíchnutí		
30	**Hanwha XD32H**	**Protivřeteno**		
		Hrubování hlavy		
		Soustružení hlavy na čisto		
		Vyjmout		
40		**Tepelné zpracování**		
		Kalení a popuštění 60+2 HRC		
50		**Povrchová úprava**		
		Zinek – Nikl r642		

4.5 Naměřené hodnoty

Tabulka 4.6 ukazuje počet vyrobených kusů do nutné výměny nástroje.

Tab. 4.6 Počet výměn nástrojů

Nástroj	Popis	Max	Min	Průměr
T0101	Zapichovací nůž	370	292	331
T0202	Hrubování dříku	90	110	100
T0303	Dřík načisto	505	473	489
T0404	Drážka	9 000	9000	9 000
T0707	Fréza Drážky	2085	1791	1 938
T0808	Sražení drážky	9 000	9000	9 000
T0909	Vrták do hlavy	3350	3190	3 270
T2424	Hlava načisto	480	368	424
T2626	Hrubování hlavy	255	193	224
T4242	Sražení díry do čela	9 000	9000	9 000
T4444	Vrtání do čela	872	826	849

4.6 Oblast optimalizace

Pro určení optimálních řezných podmínek byla vybrána operace hrubování dříku. Z dlouhodobého hlediska vykazuje tato operace největší počet výměny nástrojů a tím pádem nejvyšší nároky na řezné nástroje.

Tab. 4.7 Parametry zvolené operace

Strojní čas	0,140	min
Trvanlivost	14,3	min
Obráběná délka	218	mm
Délka automatického chodu	230	mm
Řezná rychlost	210	$m \cdot min^{-1}$

Tab. 4.8 Hodnoty výrobního zařízení

Parametr	hodnota	jednotka
Mzda operátora včetně odvodů	250	*Kč·hod^{-1}*
Celkové náklady za rok 2015	26 889 000	*Kč*
Mzdy zaměstnanců za rok 2015	7 520 000	*Kč*
Cena výrobního zařízení	3 062 000	*Kč*
Koeficient údržby stroje	1,35	-
Životnost stroje	8	*roky*
Směnnost	3	-
Čas na výměnu nástroje	4	*min*
Cena za energii	25	*Kč·hod^{-1}*
Koeficient využití stroje	0,75	-
Přirážka směnového času	1,1	-
Časový fond stroje	1 890	*Kč·rok^{-1}*

4.7 Výpočet nákladů

4.7.1 Výrobní režie pracoviště

$$RNS = \frac{N_c}{M_z} \cdot 100\ [\%] \tag{4.1.}$$

$$RNS = \frac{26\ 889\ 000}{7\ 520\ 000} \cdot 100 = 357{,}57\ [\%]$$

4.7.2 Odpis stroje

Pro výpočet odpisu stroje se užije vztah 2.4. Po dosazení konkrétních hodnot:

$$O_s = \frac{3\ 062\ 000}{8 \cdot 1890 \cdot 3 \cdot 0{,}75} = 90\ [Kč \cdot hod^{-1}] \tag{4.2.}$$

4.7.3 Hodinové náklady na provoz stroje

Dosazením hodnot rovnice 3.2 do vztahu 2.3 získáme hodinové náklady na provoz stroje:

$$N_{hs} = 90 \cdot 1{,}35 + 24{,}85 = 146{,}36\ [Kč \cdot hod^{-1}] \tag{4.3.}$$

4.7.4 Náklady na strojní práci

Náklady na strojní práci na operační úsek jsou dány vztahem 2.2:

$$N_s = 0{,}140 \cdot \left[1{,}1\frac{250}{60}\left(1+\frac{357{,}7}{100}\right)+\frac{146{,}36}{60}\right] = 3{,}29\ [Kč \cdot min^{-1}] \tag{4.4.}$$

4.7.5 Náklady na výměnu nástroje

Náklady na výměnu nástroje na operační úsek na jednotku času se vypočtou:

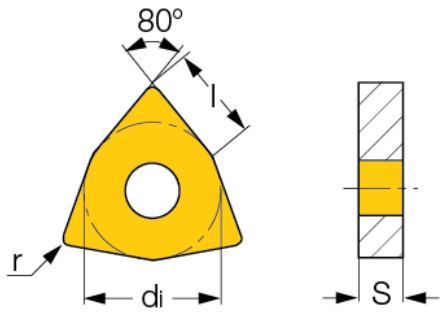
$$N_{vnm} = \left[1{,}1\frac{250}{60}\left(1+\frac{357{,}7}{100}\right)+\frac{90}{60}\right] = 22{,}48\ [Kč \cdot min^{-1}] \tag{4.5.}$$

Dosazením vztahu 2.6 a 3.5 do rovnice 2.5 získáme náklady na výměnu nástroje na operační úsek:

$$N_{vn} = 4 \cdot 0{,}0101 \cdot 22{,}48 = 0{,}85 \tag{4.6.}$$

4.8 Obráběcí nástroj

Pro proces obrábění se používá vyměnitelná břitová destička WNMG 06T304 od firmy Iscar. Destička je upnuta v držáku Iscar PWLNR 1616H-06S. Díky své konstrukci umožňuje celkem 6 upnutí.



Obr. 4.5 Destička WNMG 06T304 [10]

Tab. 4.9 Parametry břitové destičky [10]

di	l	S	r	f_{min}	f_{max}	$a_{p_{min}}$	$a_{p_{max}}$
9.52	6.52	3.97	0.40	0.10	0.35	0.40	3.00

Tab. 4.10 Parametry řezného nástroje

Parametr	***Jednotka***	***hodnota***
Cena tělesa nástroje	$Kč$	2560
Počet destiček v nástroji	–	1
Předpokládaný počet upnutí	–	600
Součinitel využití destiček	–	0,95
Koeficient údržby tělesa	–	0,05
Cena destičky	$Kč$	120
Počet břitů	–	6

4.8.1 Náklady na nástroj na jednu trvanlivost

Náklady na nástroj jsou dány vztahem 2.5 :

$$N_{nT} = \frac{120 \cdot 1}{6 \cdot 0{,}95} + (1 + 0{,}05) \cdot \frac{2560}{600} = 25{,}53\ [Kč] \qquad (4.7.)$$

4.9 Výpočet optimálních hodnot

4.9.1 Optimální trvanlivost

Pro výpočet optimální trvanlivosti břitu jsem zvolil hledisko minimálních výrobních nákladů. Výpočet se řídí vztahem 2.21:

$$T_{optN} = \frac{4 \cdot 22{,}48 + 25{,}34}{23{,}41} \cdot \frac{218}{230} \cdot (2{,}5 - 1) = 7 \ [min] \tag{4.8.}$$

Koeficient m se nazývá řezivost nástroje a charakterizuje souhrn vlastností, které ovlivňují výkon řezného nástroje. Pro další výpočty volím hodnotu $m = 2{,}5$.

4.9.2 Optimální řezná rychlost

Velikost optimální řezné rychlosti se vypočítá z rovnosti původní a optimální trvanlivosti a řezné rychlosti:

$$T_{pův} \cdot {v_{c_{pův}}}^m = T_{optN} \cdot {v_{c_{opt}}}^m \tag{4.9.}$$

$$v_{c_{opt}} = \sqrt[m]{\frac{T_{pův} \cdot {v_{c_{pův}}}^m}{T_{optN}}} = \sqrt[2,5]{\frac{14{,}3 \cdot 210^{2,5}}{7}} = 277{,}2 \ [m \cdot min^{-1}] \tag{4.10.}$$

5 Porovnání navržené a původní varianty

5.1 Celkové výrobní náklady

Výpočet celkových výrobních nákladů vychází z rovnice 2.1, po úpravě pro konkrétní podmínky získáme vztah:

$$N = t_{As} \cdot N_{sm} + \frac{t_{As}}{T} \cdot k_r (N_{nT} + t_{vn} \cdot N_{vnm}) \tag{5.1.}$$

kde: N ..... celkové výrobní náklady v $Kč/ks$

N_{sm}.... náklady na strojní práci v $Kč/min$

N_{nT} .... náklady na nástroj, vztažené na jednu trvanlivost břitu

N_{nvm}.. náklady na vedlejší práci v $Kč/min$

t_{vn} ..... čas na výměnu nástroje

Tab. 5.1 Porovnání navržené a původní varianty

	Jednotka	Původní	Navržené
Trvanlivost	min	14,03	7
Řezná rychlost	$m \cdot min^{-1}$	210	277,2
Strojní čas	min	0,140	0,106
Náklady na strojní práci na zvolenou operaci	$Kč$	3,285	2,489
Náklady na výměnu nástroje na zvolenou operaci	$Kč$	0,242	0,367
Náklady na nástroj na zvolenou operaci	$Kč$	0,852	1,292
Celkové náklady na kus na zvolenou operaci	$Kč$	4,379	4,148

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat problematiku optimalizace řezných podmínek obráběcího procesu. Jedná se o část výrobního procesu, která je často opomíjena pro nejasnost vazeb ekonomických a technologických parametrů. Tato neznalost však vede k nehospodárné výrobě a její správné pochopení vede ke snížení výrobních nákladů.

Pro praktickou aplikaci jsem vybral konkrétní výrobní úkol v podniku Carboservis, s.r.o., ve kterém jsem zvolenou součást podrobil rozboru stávajícího stavu. Následně jsem určil všechny potřebné ekonomické parametry, které jsou nutné pro výpočet optimální trvanlivosti nástroje, přičemž pro výpočet jsem vycházel z kritéria minimálních výrobních nákladů. Po určení optimální trvanlivosti břitu nástroje jsem na základě porovnáním s původními hodnotami určil optimální velikost řezné rychlosti.

Po dosazení všech vypočtených parametrů do nákladové funkce jsem získal celkové náklady pro stávající a navrženou variantu. Náklady na kus pro zvolenou operaci hrubování klesly z 4,39 na 4,15 Kč, při roční produkci 100 000 ks se tedy jedná o finanční úsporu více než 22 000 Kč. Výsledná úspora se může zdát nízká či zanedbatelná, nicméně je důležité si uvědomit, že se jedná pouze o jednu operaci ve výrobním procesu. K úpravě navíc došlo pouze změnou stávajících řezných podmínek. Pokud se obdobně bude postupovat i u dalších operací a ostatních výrobků, může se dosáhnout výrazné nákladové úspory. Tato práce tak může být odrazovým můstkem pro další optimalizační propočty v rámci podniku.

7 Použitá literatura

[1] MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01864-6.

[2] MÁDL, Jan. Technologie obrábění. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 978-80-01-03752-2.

[3] MM SPEKTRUM: Příručka pro technology - Jak rozpoznat správné utváření třísek? [online]. 2016 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-rozpoznat-spravne-utvareni-trisek.html

[4] MÁDL, Jan. Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění. Vyd. 3. přeprac. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1988.

[5] CARBO SERVIS, s.r.o. [online]. 2016 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://www.carboservis.cz/

[6] KULIČKY: 14 109 [online]. 2016 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://kulicky.wbs.cz/Ocel-14-109.html

[7] HANWHA MACHINERY: Hanwha XD32H [online]. 2016 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://www.hanwhamachinery.com/docs/2015/XD323538-2.pdf

[8] MM SPEKTRUM: Proč dlouhotočný automat [online]. 2007 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/proc-dlouhotocny-automat.html

[9] SWISTEK [online]. 2013 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: http://www.swistek.com/images/swistek_ab_42_swiss_cnc_lathe_cad_layout.jpg

[10] ISCAR: WNMG 06T304-WG [online]. 2016 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5595834&fnum=496&mapp=IS&app=0&GFSTYP=M

8 Seznam příloh

1. Výkres součásti