

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Karel Vojtíšek**

obor **strojírenská technologie**

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: **Matematické formulace ploch řezného nástroje**

Pokyny pro vypracování:

1. Politicko-hospodářský význam diplomního zadání
2. Studium a rozbor literatury, kritika dosavadních způsobů
3. Matematické vyjádření elementů řezného nástroje (hřbet, čelo, ostří)
4. Zavedení souřadnicových soustav-(nástrojová, pracovní a strojová) a vyjádření vztahů mezi těmito elementy v jednotlivých soustavách i mezi nimi s použitím transformačních rovin
5. Matematické vztahy sestavit do algoritmu vhodného pro neprogramování na číslicovém počítači
6. Aplikace teorie na několika typech řezných nástrojů

Rozsah grafických laboratorních prací: **dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **cca 50 stran**

Seznam odborné literatury:

Peters J., Van Den Noortgate L.: A General Method for Tool Angle Transformation
(Obecná metoda transformace nástrojových úhlů),
11 th. International M.T.D.R. Conference,
University of Birmingham, 1970

Kunstetter St.: Narzedzia skrawajac do metali. Konstrukcia, WNT, Warszawa, 1970

Rodin P. R.: Základy teorie navrhování řezných nástrojů. SNTL, Praha 1963

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jaroslav Draský, CSc.**

Konsultanti: **Ing. Robert Kvapil**

Datum zahájení diplomové práce: **15. 10. 1973**

Datum odevzdání diplomové práce: **31. 5. 1974**



Prof. Ing. Jaroslav Draský, CSc.
Vedoucí katedry

Doc. Ing. Oldřich Krejčíř, CSc.
Děkan

v **Liberci** dne **3. 10.** 19**73**

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní	řezného nástroje	1

O B S A H .

Seznam použitých označení	...	2
Úvod	...	5
Politicko hospodářský význam diplomního zadání	...	7
Studium a rozbor literatury.	...	9
Obecná transformační metoda	...	12
Definice souřadnicových systémů	...	17
Matematické formulace řezných elem. nástroje	...	24
Transformační metoda	...	28
Přímá transformace	...	28
Inverzní transformace	...	30
Transformace z ortogonálního do prac. systému	...	30
Transformace z prac. ortogon. do prac. systému	...	39
Sestavení matematické formulace do algoritmu určeného pro výpočet na samočinném počítači	...	40
Aplikace		
Soustružení	...	45
Vrtání	...	54
Frézování	...	59
Frézování nožovými hlavami	...	69
Příloha		
Přímá transformace	...	79
Inverzní transformace	...	84
Závěr	...	88

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch	Vojtíšek Karel	
Fakulta strojní	řezného nástroje		2

SEZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ .

Označení rovin.

- P_r - nástrojová základní rovina. Je rovinou zkoumaného bodu ostří, která je položena tak, že je buď rovnoběžná nebo kolmá k ploše nebo ose nástroje, na níž se nástroj při výrobě a měření ustavuje. Rovina je pro každé místo definována tak, že dřívější podmínka odpovídá tomu, že rovina je kolmá k předpokládanému směru řezání. Při obvyklém soustružení a hoblování je tato rovina rovnoběžná s upínací plochou. Pro tangenciální nůž a obrašecí nůž je tato rovina kolmá k drámu nože. Pro frézování, kde nástroj řezá na čele a obvodu, je touto rovinou rovina, obsahující osu, pro šroubovitý vrták je touto rovinou rovina jdoucí osou vrtáku.
- P_s - nástrojová rovina řezu. Je kolmá k rovině P_r a obsahuje ostří. Prochází zkoumaným bodem ostří.
- P_o - nástrojová měřicí rovina. Je kolmá k rovinám P_r a P_s .
- P_n - normální rovina řezu. Prochází zkoumaným bodem a je kolmá k ostří.
- P_f - předpokládaná pracovní rovina. Prochází zkoumaným bodem ostří. Je kolmá k rovině P_r a obvykle v ní leží směr hlavního řezného pohybu a posuvu.
- P_p - nástrojová zadní rovina. Je kolmá k rovině P_r a P_f .
- P_{re} - pracovní základní rovina. Prochází zkoumaným bodem ostří a je kolmá k výslednému řeznému pohybu.
- P_{se} - pracovní rovina řezu. Prochází zkoumaným bodem ostří, ostří v ní leží a je kolmá k rovině P_{re} .
- P_{fe} - pracovní rovina, v níž leží směr výsledného řezného pohybu a posuvu.
- P_{pe} - pracovní zadní rovina. Je kolmá k rovinám P_{re} a P_{fe} .
- P_{rm} - strojová základní rovina.

Označení úhlů.

- λ - nástrojový úhel sklonu ostří. Úhel mezi ostřím a prů-

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní		3

α_n - nástrojový normální úhel čela. Úhel je měřen v P_n .
 β_n - nástrojový normální úhel hřbetu. Je to úhel mezi hřbetem a rovinou P_n , měřený v rovině P_n .
 β_n - normální úhel břitu. Je to úhel mezi hřbetem a čelem.
 \mathcal{H} - nástrojový úhel nastavení. Je to úhel mezi rovinami P_s a P_r , měřený v rovině P_r .
 λ_e - pracovní úhel sklonu ostří. Úhel mezi ostřím a průmětem ostří do roviny P_{re} . Je měřený v rovině P_{se} .
 γ_{nc} - pracovní normální úhel čela. Úhel mezi čelem a rovinou P_{re} , měřený v rovině P_{ne} .
 α_{nc} - pracovní normální úhel hřbetu. Úhel mezi hřbetem a rovinou P_{se} , měřený v rovině P_{ne} .
 \mathcal{H}_e - pracovní úhel nastavení.
A - úhel ustavení
B - úhel sklonu
C - úhel klopení
 χ - úhel mezi výslednicí řezného pohybu a jeho průmětem do strojové základní roviny.
 τ - úhel mezi průmětem výslednice řezného pohybu do strojové základní roviny a z_m osou strojového referenčního systému.
 ξ - úhel mezi výslednicí posuvu a jejím průmětem do strojové základní roviny.
 θ - úhel mezi průmětem výslednice posuvu do strojové základní roviny a osou z_m .
 φ - pomocný úhel.

Řezné pohyby.

v - hlavní řezný pohyb. Je to pohyb, který stroj nebo ruka přenáší na nástroj nebo obrobek a kterým je obrobek přinucen přibližovat se k čelní ploše nástroje.
s - posuvový pohyb, posuv. Je pohybem, který je nástroji nebo obrobku udělen strojem nebo ručně a který zabezpečuje opakovaný nebo kontinuální odběr třísky a vede k tvorbě určitého povrchu s žádanými geometrickými vlastnostmi

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní		4

v_e - skutečný řezný pohyb. Je výslednicí hlavního řezného pohybu a příslušného posuvového pohybu

Matice .

C - matice směrových kosinů v ortogonální soustavě.

G - matice směrových kosinů v ortogonální soustavě pracovní

T^T - transponovaná transformační matice

47

Autorské právo se řídí směrnici MŠK pro státní
Věstník MŠK, číslo 24 ze dne
31.8.1952 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

Ú V O D .

Hlavním klíčem k rozvoji společenské výroby je zvýšení efektivity národního hospodářství. Ekonomika již nemůže čerpat z extenzivních zdrojů. XIV sjezd KSČ stanovil na období 5. pětiletého plánu růst národního důchodu o 28%, z čehož nejméně 95% má být tvořeno růstem společenské produktivity práce. Toho lze dosáhnout jenom účelnějším využíváním stávající výrobní základny, schopností a kvalifikace pracujících, rozvojem vědy a techniky, pokračující koncentrací a specializací výroby a intenzivnějším rozvojem mezinárodní socialistické ekonomické integrace.

Důležitý je rozvoj vědeckého poznání výrobních sil a jednotlivých výrobních procesů. Kromě jiného, rychlé savádní vědeckých poznatků do výrobního procesu a co nejlepší jejich využití. Přitom je potřeba všechna odvětví národního hospodářství rozvíjet komplexně.

Požadavky rozvoje národního hospodářství se týkají i třískového obrábění. Zde jde o zvládnutí teorie řezného procesu a využití nauky o stavbě kovů, pružnosti, plasticity a ostatních vědních oborů. Historie výzkumu procesu řezání je poměrně krátká a výzkum sám byl omezen nedostatečnou znalostí stavby kovu. První poznatky o procesu řezání spadají do 50 let minulého století. Zasloužili se o ně technici: belgičan M. Cocquilhat němec P. Wiebe a angličan Joessel. Cocquilhat roku 1850 uveřejnil výsledky své práce, zabývající se vztahem síly a krouticího momentu při vrtání k velikosti průřezu třísky. Wiebe pracoval na výpočtu práce řezání a Joessel zkoumal závislost sil na kroutícím momentu při soustružení a vrtání na posuvu, hloubce řezu a úhlu řezu a použití řezných kapalin.

Výzkum v oblasti řezání je rozdělen do dvou kategorií. V první se zkoumá podstata procesu oddělování třísky a jevů, které tento proces doprovázejí, tj. směr a plastických deformací, stav napjatosti v odřezávané vrstvě materiálu, tepelné jevy, fyzikální podstata otáru ap. V druhé kategorii výzkumných prací se provádí výzkum pracovních podmínek, sajištůjících opti-

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel	
Fakulta strojní			6
<p>mální průběh procesu řezání. Tyto podmínky zajistí minimální spotřebu energie a maximální hospodárnost při udržení požadované kvality obrobeneé plochy.</p> <p>Celý výzkum řezného procesu byl aje ovlivněn stupněm poznání struktury a vlastností kovů. Ve výzkumu stavby hmoty byly provedeny důležité kroky v posledních švaceš až třiceti letech. Stále však ještě nelze na základě známých vlastností elementárních částic určovat i kvantitativně mechanické vlastnosti kovů a tím aplikovat závěry fyziky pevné fáze v technické praxi.</p>			

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní		7

POLITICKO HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM DIPLOMNÍHO ZADÁNÍ .

Vedle ostatních metod opracování kovů má obrábění kovů důležité místo, které si udržuje díky svým přednostem a navzdory svým nedostatkům. Je těžké určit, zda podíl obrábění kovů na ostatních způsobech zpracování kovů bude mít v budoucnu stále dnešní významné postavení, nebo bude jeho použití omezeno jen na některé operace. Existují efektivnější metody opracování kovů, které v mnohých případech s úspěchem nahrazují třískové opracování. Typickým příkladem takového zefektivnění výroby je tzv. „Adamova metoda“ válečkování povrchu hydraulických válců. Zde místo sdílnavého honování se válec válečkuje válcovací hlavou. Na druhé straně jsou výrobky a výrobní operace, kde se bez obrábění neobejdeme.

Obráběcí stroj a nástroj tvoří jednotu ve výrobním procesu. Jsou nástroje, jejichž cena mnohonásobně převyšuje cenu stroje. Proto je důležité věnovat nástroji, jeho konstrukci, údržbě a správnému používání velkou pozornost. Je třeba znát zákonitosti řezného procesu a nástroj vidět nejen jako samostatnou část, ale jako součást pracovního procesu, kde od něho vyžadujeme zcela určité vlastnosti a kde jeho geometrie je odlišná od geometrie nástroje.

Každý řezný nástroj se skládá z řezného klínu popřípadě řady řezných klínů a tělesa nože. Nástrojové úhly řezného klínu jsou voleny dle mnoha hledisek. Geometrie nástroje má vliv na samotnou únosnost, trvanlivost a řezivost břitu, na teplotu řezání a směr odchodu třísky a podobně. Velmi důležitá je správná volba řezné geometrie vzhledem k obráběnému materiálu. Nástrojová geometrie ostří ovšem neodpovídá geometrii, která na nástroji vznikne při práci. Jednak záleží na ustavení nástroje na stroji a jednak záleží na samotných pracovních podmínkách, tj. řezných parametrech. Začnu nástrojových úhlů upnutím nástroje do pracovní polohy vyjadřujeme směrnost nástrojového systému, v němž jsme vyjadřovali nástrojové úhly, ke strojovému referenčnímu systému, neboli upínacímu systému, kde se řezné úhly osnažují jako strojové. Strojový systém je na stroji ustaven tak, že jeho osy sledují hlavní řezné pohyby stroje. Tyto strojové úhly ještě nejsou řeznými úhly pracovního procesu. Závisí ještě na relativním

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní		8

pohybu nástroje a obrobku. Vyjádříme-li vliv tohoto relativního pohybu na strojové úhly nástroje, dostaneme konečné pracovní úhly nástroje. Ty odpovídají skutečným poměrům na noživ pracovním procesu. K tomu je zapotřebí dodat, že pracovní úhly řezání jsou skutečnými úhly jen tehdy, jestliže tříska odhánějí ve směru kolmém k ostří. Není-li tomu tak, potom se pracovní úhly liší od skutečných řezných úhlů.

Určování úhlů nástroje v pracovním procesu, tedy určování pracovních úhlů ze známých úhlů nástrojových se zabývá tato diplomová práce. Závěrů práce lze využít při konstrukci řezných nástrojů, při rozboru pracovního procesu řezání, své uplatnění najde u programově řízených strojů, při seřizování nástrojů ap.

Strojní výroba přechází od výroby na univerzálních strojích a automatech, pevných výrobních linkách, tedy tvrdé automatizace, na integrované výrobní linky a programově řízené stroje. Při této úrovni strojového zařízení je nutná dokonalá znalost nástroje, jeho dokonalé seřizení, nastavení a kontrola. Na programově řízeném stroji a stejně je tomu i na výrobních automatických linkách, je třeba nástroj seřídít tak, aby měl správnou nejen geometrii ostří, ale i správnou polohu vůči souřadnicovému systému stroje. Příprava nástroje pro pracovní proces vyžaduje jeho nastavení do takové polohy, aby pracovní řezné úhly byly požadované hodnoty a jeho poloha v souřadném systému stroje odpovídala požadavkům programu. Výchozími parametry pro seřizení nástroje jsou nástrojové úhly, požadovaná poloha nože v souřadném systému stroje a požadované pracovní řezné úhly. Stačí vypočítat potřebné úhly nastavení nože, dle nich nástroj seřídíme, a je připraven pro výrobní proces.

Velké uplatnění najde diplomová práce i při konstrukci nástrojů, usazování plátek do tělesa sustružnického nože, do tělesa frézovací hlavy ap.

Přitom je nutné skloubit výpočet nástroje s experimentální ověřením získané geometrie ostří. Samotné teorie pro určení správných řezných úhlů nestačí a samotné praktické zkoušky také nedávají obecné a na další typy nástrojů aplikovatelné závěry.

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch řezného nástroje	Vojtíšek Karel
Fakulta strojní		9

STUDIUM A ROZBOR LITERATURY. KRITIKA DOSAVADNÍCH ZPŮSOBŮ.

Určit závislosti mezi nástrojovými a pracovními úhly nástroje znamená nejprve definovat souřadnicovou soustavu a v této soustavě matematicky formulovat řezný element, tj. ostří roviny čela a roviny hřbetu. Matematická formulace řezného elementu může být různá. Řezný nástroj je jistý geometrický objekt, který je určitým způsobem orientován vzhledem k definovanému souřadnicovému systému. Tento objekt sestává z jednotlivých řezných elementů. Řezné elementy můžeme matematicky formulovat tak, že každý geometrický element nástroje bude popsán směrovými kosiny charakteristických přímek, element nástroje plně určujícími. Ostří bude potom popsáno směrovými kosiny ostří jakožto přímky, rovina čela bude popsána směrovými kosiny ostří a směrovými kosiny přímky kolmé na ostří a ležící v rovině čela. Podobně rovina hřbetu. Rovinu potom určují směrové kosiny dvou přímek, ostří určují směrové kosiny přímky. Směrové kosiny budou vyjádřeny pomocí nástrojových úhlů.

Kromě této přímé formulace můžeme použít i formulaci vektorovou. Ostří bude reprezentováno vektorem ležícím v ostří a řezná rovina vektorem na tuto rovinu kolným. Používat vektorové formulace je výhodnější. Zde je každý řezný element popsán jediným vektorem. V případě přímé formulace byla rovina určena a popsána dvěma charakteristickými přímkami.

Nyní máme nástroj, na něm orientovaný souřadnicový systém a v tomto systému některým z obou způsobů popsán řezný klín. Nástroj upneme na stroj a tím původní souřadnicový systém zaujme určitou polohu k systému stroje. Jde o to, přepočítat údaje řezných elementů původního do nového systému. Způsob přepočtu může být zase různý. Použili-li jsme vektorové formulace, stanovíme souřadnice daného vektora v nové soustavě. Druhým krokem je vyhodnocení odchylky původního a nového vektora a určení velikosti změny nástrojových úhlů. Tohoto způsobu přepočtu nástrojových úhlů na úhly pracovní je použito v literatuře 2. Setkáváme se zde již s tím, že původní systém je s novým zeshodován pomocí tří rotací kolem jednotlivých os. Tento princip však není doveden do konce a

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch	Vojtíšek Karel	
Fakulta strojní	řezného nástroje.		10

kromě toho zde existuje i označní úhlů mezi jednotlivými osami. Vztahy se pak musí vyhledat v tabulce. Vcelku je tento postup složitý a i přesto, že je výpočet prováděn po etapách, jsou i mezi výsledky poměrně složité s množstvím pomocných vztahů. V případě, že jsme volili přímou formulaci, vyžaduje matematický zápis řezného elementu v nové poloze souřadnicového systému zakreslení této nové polohy a postupné nalezení směrových kosinů pro novou polohu řezného klínu. Aparátem přepočtu je goniometrie. Tohoto způsobu přepočtu použil prof. Křístek. Výhodou postupu je názornost. Všechny polohy nástroje musí být zakresleny a okótovány. Výpočet je rozdělen do dvou etap. Nejprve se stanoví závislost úhlů v systému nástrojovém na úhlech systému strojovém, potom úhlů v systému strojovém na úhlech v systému pracovním. Celkový vztah mezi nástrojovými a pracovními úhly je rozdělen do dvou formulí. Získané převodní vztahy jsou jednoduché.

Převod úhlů z nástrojového do strojového systému je zprostředkován postupným natáčením nástrojového systému kolem jeho tří souřadnicových os, až do konečné polohy. Je-li takto získané úhly, udávající míru natožení obou systémů, je možno nastavovat a odečítat na stroji. Ve vztazích jsou tyto tři úhly nahrazeny dvěma, které také plně určují vzájemnou polohu obou systémů. Je to úhel mezi nástrojovou a strojovou základní rovinou a úhel mezi stopou nástrojové základní roviny a osou x . Zjednodušená je v tom, že dostáváme místo tří úhlů úhly dva, ale musíme je počítat. Tím přibývají další pomocné vztahy, jež komplikují výpočet. Celá metoda přepočtu nástrojových úhlů na úhly pracovní je dovedena do konce, včetně aplikace teorie na rotační nástroje. Odvození matematických formulí je náročné na představivost, použití formulí na praktické příklady je již snadné.

Nejužitečnějším matematickým vyjádřením řezných elementů se ukázalo být maticový počet, použitý v literatuře 1. Řezný element matematicky zapíšeme ve tvaru matice, jež v podstatě představuje vektor, řezný element reprezentující. Natožení systému je vyjádřeno rovněž maticí, takže celkové natožení

VŠST Liberec	Matematické formulace ploch	Vojtíšek Karel	
Fakulta strojní	řezného nástroje.		11
<p>systemu, skládající se z dílčích natočených kolem jednotlivých os, je vyjádřeno součinem odpovídajících matric.</p> <p>Tohoto způsobu formulace je použito v diplomové práci.</p>			