

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
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

STAV POVRCHOVÉ VRSTVY PO OBRÁBĚNÍ AL-SLITINY
/ ČSN 42 42 02 /

KOM - OM - 574
Zbyněk Slavíček

Vedoucí práce : Ing. Aleš Průšek - KOM VŠST Liberec
Konzultant : Ing. Ivan Mašín - KOM VŠST Liberec

Počet stran 67
Počet příloh
a tabulek 56
Počet obrázků 20
Počet výkresů 0
Počet modelů
nebo jiných příloh 0

Datum : 10. května 1988

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1987/88

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Slaviček Zbyněk

obor 23-07-8

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

Název tématu: Stav povrchové vrstvy po obrábění Al-slitiny
/ČSN 42 42 02/

Zásady pro vypracování:

1. Průzkum současného stavu
2. Sledování vlivu řezných podmínek na zpevnění, zbytkového pnutí v povrchové vrstvě po obrábění válcovým frézováním
3. Studium struktury základního materiálu a povrchové vrstvy
4. Vyhodnocení výsledků a závěr

V 316/88S

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

*Archie - chla - lib -
- 1200*

*672
Jb...*

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

Kol.: Vliv podmínek obrábění na stav povrchu při čelním a válcovém vrézování Al-slitin /Výzkumná zpráva/ VŠST Liberec 1986

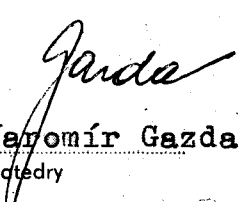
Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Průšek


Konzultant: Ing. I. Mašín

Datum zadání diplomové práce: 30. 9. 1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 5. 1988.

L.S.


Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

V Liberci dne 30. 9. 1987

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

V Liberci, dne 10.5.1988

.....*Stanislav Zpět*.....

1.	<u>ÚVOD</u>	9
2.	<u>PRŮZKUM SOUČASNÉHO STAVU</u>	12
2.1.	Vliv řezných podmínek na stav povrchové vrstvy po obrábění	12
2.1.1.	Zvláštnosti obrábění hliníkových slitin	12
2.1.2.	Zvláštnosti procesu válcového frézování	13
2.1.3.	Řezná rychlost	13
2.1.4.	Posuv	14
2.1.5.	Hloubka řezu	15
2.1.6.	Řezná kapalina	16
2.1.7.	Způsob frézování	16
2.1.8.	Řezný nástroj	19
2.2.	Struktura a vlastnosti hliníkových slitin	20
2.2.1.	Rozdělení hliníkových slitin systému Al-Cu	20
2.2.2.	Struktura Al-slitin	21
2.2.3.	Vlastnosti Al-slitin	23
3.	<u>NÁVRH METODIKY ZKOUŠEK PRO HODNOCENÍ PОВRCHOVÉ Vrstvy</u>	25
3.1.	Drsnost obrobené plochy	25
3.1.1.	Klasifikace a měření drsnosti	27
3.2.	Zpevnění obrobeného povrchu	27
3.2.1.	Určování hloubky a stupně zpevnění ..	30
3.3.	Zbytkové napětí	31
3.3.1.	Teorie vzniku zbytkových napětí	32

3.3.2.	Metody zjišťování zbytkových napětí ...	33
3.3.3.	Měření a výpočet zbytkových napětí při použití metody elektrolytického leptání	34
4.	<u>EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ VLIVU ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA STAV POVRCHOVÉ VRSTVY SLITINY ČSN 42 42 02.</u>	39
4.1.	Zhotovení vzorků pro vlastní měření ...	39
4.1.1.	Materiál vzorku	39
4.1.2.	Příprava vzorků	39
4.1.3.	Řezné podmínky	39
4.1.4.	Obráběcí stroj	40
4.1.5.	Řezný nástroj	41
4.1.6.	Přípravek	42
4.1.7.	Vlastní frézování	42
4.2.	Sledování vlivu řezných podmínek na napjatost a zpevnění povrchové vrstvy	43
4.2.1.	Odběr zkušebních tělísek pro jednotlivá měření	43
4.2.2.	Měření drsnosti povrchu	44
4.2.3.	Měření mikrotvrdosti	44
4.2.4.	Příprava šikmých řezů	44
4.2.5.	Metodický postup vlastního měření přístrojem PMT-3	45
4.2.6.	Vyhodnocení naměřených hodnot	47
4.2.7.	Měření zbytkových napětí	49
4.2.9.	Vyhodnocení naměřených hodnot	52
4.3.	Studium struktury základního materiálu a povrchové vrstvy	53
4.3.1.	Příprava vzorků	53
4.3.2.	Příprava metalografických výbrusů	54

4.3.3.	Pozorování struktury	55
4.3.4.	Povlakování vzorku	56
5.	<u>DISKUZE VÝSLEDKŮ</u>	60
6.	<u>ZÁVĚR</u>	64
7.	<u>LITERATURA</u>	66

SEZNAM PŘÍLOH

1. Odběrový plán
2. Tělesa pro kvalitativní hodnocení obrábění
3. Odběr zkušebních těles pro jednotlivá měření
4. Seznam těles pro kvalitativní hodnocení obrábění
5. Řezné podmínky pro jednotlivé vzorky
6. Naměřené hodnoty drsnosti povrchu
7. Naměřené hodnoty HV 0,02 (mikrotvrdosti)
8. Naměřené hodnoty σ /MPa/ (zbytková napětí)
9. Grafické závislosti σ na H
10. Grafické závislosti HV 0,02 na H
11. Grafické závislosti Ra, Rm na v, s_z
12. Prostorová závislost SZ na s_z a v
13. Prostorová závislost ($H = 5 \mu\text{m}$) na s_z a v

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- a vzdálenost konce leptané plochy od roviny snímání deformace /mm/
- b šířka vzorku /mm/
- d délka diagonály vtisku / μm /
- D průměr frézy /mm/
- E modul pružnosti /MPa/
- F síla /N/
- G_1 hmotnost tělíska před leptáním /kg/
- G_2 hmotnost tělíska po leptání /kg/
- h hloubka řezu /mm/
- h_0 tloušťka vzorku /mm/
- hl hlazení
- hr. hrubování
- H hloubka pod povrchem / μm /
- H celková tloušťka odleptané vrstvy /mm/
- HB tvrdost podle Brinella
- HV tvrdost podle Vickerse
- HV 0,02 tvrdost podle Vickerse při použitém závaží 0,02 kg
- H_z hloubka zpevněné vrstvy / μm /
- I kvadratický moment průřezu / m^4 ; mm^4 /
- K konstanta pro výpočet napětí
- KOM katedra obrábění a montáží
- l délka leptané vrstvy /mm/
- l vzdálenost od přechodu šikmého řezu / μm /
- ΔL přírůstek délky zápisu /mm/
- M ohybový moment /MPa/
- M_R měřítko použitého rozsahu / $\mu\text{m}\cdot\text{mm}$ /

n	.....	počet odleptaných vrstev
P	.....	zátížení vnikacího tělesa /N/
PMT-3	.....	typ mikrotvrdoměru
Ra	.....	střední aritmetická odchylka / μm /
Rm	.....	největší výška nerovnosti / μm /
RO	.....	rychlořezná ocel
s	.....	posuv za minutu / $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ /
s _Z	.....	posuv na zub / mm /
S	.....	plocha / m^2 ; mm^2 /
SK	.....	slinutý karbid
SPD	.....	katedra strojů průmyslové dopravy
SZ	.....	stupeň zpevnění /%/
v	.....	řezná rychlost / $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ /
V	.....	velikost diagonály vtisku /dílký/
W ₁₀	.....	průřezový modul v ohybu / m^3 ; mm^3 /
x	.....	vzdálenost počátku leptané plochy od roviny snímače / mm /
Δy	.....	přírůstek skutečné hodnoty deformace v místě snímače / μm /
Δy	.....	přírůstek hodnoty měřené deformace / mm /
$\Delta y'$	.....	přírůstek hodnoty průhybu nosníku / mm /
$\Delta y''$	.....	přírůstek hodnoty pootočení / mm /
ΔY	.....	přírůstek deformační křivky na délce zápisu ΔL / mm /
α	.....	úhel hřbetu / $^\circ$ /
β_1	.....	úhel střižné roviny / $^\circ$ /
μ	.....	úhel čela / $^\circ$ /
λ	.....	úhel sklonu ostří / $^\circ$ /
ρ	.....	poloměr ostří / μm /

- ρ měrná hustota / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3}$ /
- $\bar{\sigma}$ zbytková napětí /MPa/
- $\bar{\sigma}_{20}$ ohybové napětí /MPa/
- $\bar{\sigma}_{2t}$ tahové napětí /MPa/
- φ úhel pootočení koncového průřezu /°/
- ψ vrcholový úhel vnikacího tělesa /°/
- Ω úhel šikmého řezu /°/

1. ÚVOD

XVII. sjezd KSČ zformuloval hlavní cíle hospodářského a sociálního rozvoje do roku 2000, které je nezbytné zabezpečit novou kvalitou růstu národního důchodu jako předpokladu plnějšího uspokojování reálných potřeb lidu. Sjezd zdůraznil, že to vyžaduje přejít k intenzivnímu typu rozvoje, plně přitom využít zejména rychlého uplatnění výsledků vědeckotechnického rozvoje a prohlubování mezinárodní dělby práce a zabezpečovat tak vysoký růst společenské produktivity práce, podstatné snížení energetické, surovinové a materiálové náročnosti i pronikavý růst užitečnosti a kvality veškeré vyráběné produkce. Podtrhl zároveň potřebu přestavby hospodářského mechanismu tak, aby v maximální míře zajišťoval dosažení stanovených politických, ekonomických a sociálních cílů.

Přestavba důsledně vychází ze socialistického vlastnictví výrobních prostředků. Vytváří předpoklady pro takové uplatnění principu demokratického centralismu s důrazem na rozšiřování socialistické demokracie, které odpovídá novým úkolům a podmínkám rozvoje.

Jedním z hlavních prostředků k dosažení dlouhodobých cílů v oblasti rozvoje výrobních sil je selektivní strukturální politika, zaměřená na prohloubení efektivního zapojení naší ekonomiky do mezinárodní dělby práce a opírající se o dosažené i předpokládané výsledky vědeckotechnického rozvoje. To vyžaduje soustředit se na rozvoj takových druhů výrobků a služeb, u nichž máme předpoklady pro dosažení světové úrovně v produktivitě práce a ve vlastnostech produkce, nebo se této úrovni v poměrně krátké době alespoň přiblížit. Z tohoto pojetí vyplývá nutnost koncipovat celý

hospodářský mechanismus tak, aby maximální měrou působil na urychlování vědeckotechnického rozvoje ve všech fázích reprodukčního procesu s využitím mezinárodní dělby práce.

Základem se musí stát urychlené uplatňování vědeckotechnického pokroku v národním hospodářství ČSSR a realizace Komplexního programu vědeckotechnického pokroku členských zemí RVHP do roku 2000.

Vědeckotechnický pokrok zaměřit na :

- elektronizaci národního hospodářství ;
- komplexní automatizaci především masových výrob a zavádění pružných automatizovaných výrobních systémů ;
- rozvoj jaderné energetiky, zvyšování podílu elektrické energie v celkové palivoenergetické bilanci ČSSR ;
- vývoj nových druhů materiálů a osvojení jejich výroby výkonnými technologiemi ;
- rozvoj biotechnologií a jejich co nejširší využití.

Rozhodující úlohu v urychlení vědeckotechnického rozvoje musí plnit strojírenství a elektrotechnický průmysl, které na základě prohlubování spolupráce především se socialistickými státy musí zabezpečovat potřebné stroje a zařízení vysoké technické úrovně pro modernizaci výrobně technické základny československé ekonomiky a přechod k zásadně novým technologickým postupům a k technice nových generací. Urychlit inovační procesy a dosáhnout podstatného růstu kvality výrobků a jejich technickoekonomické úrovně a spolehlivosti, srovnatelné s předními výrobci ve světě.

Je potřebné výrazně změnit charakter výrobního procesu ve strojírenství, ovlivněný novými technologiemi, novými materiály, modernizací strojírenských výrobních procesů na bázi komplexní mechanizace , automatizace a integrovaného

řízení procesů pomocí výpočetní a řídicí techniky. Je samozřejmé, že i technologie obrábění bude těmito zásadními změnami ovlivňována. Třískové obrábění kovů má stále velký podíl při zhotovování výrobků. Je třeba si uvědomit, že zvýšení produktivity práce, dosažení optimální jakosti výrobku a zvýšení celkové ekonomické efektivity výrobního procesu není možné bez zavádění špičkových výrobních strojů a zařízení, nástrojů a nových způsobů opracování.

Optimální uplatnění progresivní technologie předpokládá také dobrou znalost obráběného materiálu (vhodnost materiálu pro obrábění, změny jeho stavu po obrábění a pod.). Je potřebné dosáhnout takových vlastností obrobeného povrchu, které nesnižují provozní vlastnosti hotových strojních dílců. Tomu má napomoci i práce, která je zaměřena na zjišťování vlivu řezných podmínek na stav povrchové vrstvy po obrábění slitina Al-Cu4-Mg1. Výsledky by měly přispět k analýze stavu povrchové vrstvy, k zjištění vlivu řezných podmínek na stav povrchové vrstvy a k možnostem ovlivnění povrchové vrstvy změnou parametrů řezného procesu.

2. PRŮZKUM SOUČASNÉHO STAVU

2.1. Vliv řezných podmínek na stav povrchové vrstvy po obrábění

2.1.1. Zvláštnosti obrábění hliníkových slitin

Hliník a jeho slitiny lze obrábět všemi dosud známými způsoby třískového obrábění, které se používají například u oceli a litiny.

Porovnáme-li obrábění slitin hliníku a oceli z hlediska řezných podmínek, zjišťujeme některé specifické odlišnosti, zejména několikanásobně vyšší řeznou rychlost při stejné trvanlivosti nástroje. To je umožněno těmito vlastnostmi :

- a) vysoká tepelná vodivost, která umožňuje dobrý odvod tepla
- b) relativně nízká vrubová pevnost
- c) malá pevnost ve stříhu a z ní plynoucí nízký řezný odpor
- d) nízká měrná váha (dovoluje vysoké otáčky při soustružení velkých obrobků).

Při obrábění hliníku a jeho slitin se všeobecně doporučuje zásada dodržovat řeznou rychlost nad 90m min.⁻¹ Vyjímkou jsou v tomto případě ruční obrábění, protahování, vrtání a řezání závitů. Pod uvedenou hranicí řezné rychlosti neúměrně vzrůstá koeficient tření mezi hliníkem a nástrojem i za předpokladu zachování předepsaných řezných úhlů. V důsledku zvýšeného koeficientu tření vzniká na břitu nástroje nárůstek, který značně zvyšuje drsnost obrobenej plochy./4/

Rozdíl mezi úhly β_1 a β_2 je u hliníkových slitin velmi malý. V řadě případů můžeme uvažovat, že tyto úhly splývají. Tento jev se přibližuje teorii jediné střižné plochy skluzu,

které se používají v současných monografiích při vysvětlování mechanismu vzniku třísky při obrábění hliníkových slitin. /1/

2.1.2. Zvláštnosti procesu válcového frézování

Frézování je výrobní metoda, při níž odebírají materiál obrobku zuby nástroje otáčejícího se kolem pevné osy. Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Při frézování velkými reznými rychlostmi lze až na některé případy zajistit vyšší a hospodárnější úběr obráběného materiálu než při obrábění jednobřitým nástrojem při hoblování.

Hlavní zvláštnosti válcového frézování :

- a) cyklické přerušování procesu obrábění
- b) současná práce několika zubů
- c) proměnná tloušťka odřezávané vrstvy

Tyto zvláštnosti jsou příčinou silových a tepelných zatížení rázových účinků a chvění.

2.1.3. Řezná rychlost

Má vliv na intenzitu plastické deformace, na dobu styku nástroje s obrobkem, na velikost zatížení, koeficient tření, na teplotu řezání, značně ovlivňuje tváření povrchové vrstvy. Řezná rychlost ovlivňuje velikost rezné síly zejména při malých hodnotách (20 až 60 m.min⁻¹). S růstem rezné rychlosti nad hodnotu 300 m.min⁻¹ se rezná síla stabilizuje a lze konstatovat, že vliv rezné rychlosti na reznou sílu je nad touto hranicí nepatrný. Při rychlosti menší než 60 m.min⁻¹ může docházet k nalepování třísky, což znamená zvýšení rezné síly a v konečném důsledku může vést ke snížení efektivnosti obrábění. Při rezných rychlostech 30 až 80 m.min⁻¹ vznikají největší nárůstky na břitu nástroje.

-1

Zvýšením řezné rychlosti nad 250 až 300 m.min vede k intenzivnímu snížení tvorby nárůstku a vznikající nárůstek je nepatrný. Řezná rychlost má vliv i na velikost odebraného objemu z obráběného polotovaru. Proto se v posledních letech projevují snahy o zvýšení řezné rychlosti. Pro frézování hliníkových slitin jsou v nejbližší době prakticky realizovatelné řezné rychlosti až 6000 m.min. Vyšší řezné rychlosti mohou být použity jen v omezeném měřítku.

Podle / 3 / se zvýšením řezné rychlosti hloubka zpevnění klesá. Při hloubce řezu 0,5 mm vedlo zvýšení řezné rychlosti z 462 na 1386 m.min ke snížení hloubky zpevnění asi o 5 μ m. Při hloubce řezu 4 mm vede tato změna k zmenšení hloubky zpevněné vrstvy o 10 μ m. Zvýšení řezné rychlosti stupeň zpevnění neovlivnilo.

-1

/ 4 / hovoří o tom, že zvýšení v z 462 m.min. na 1386 m.min vedlo ke snížení hloubky zpevnění průměrně o 7 μ m. Závislost velikosti hodnot zbytkového napětí na v se výrazně neprojevila.

2.1.4. Posuv

Posuv má vliv na drsnost obrobené plochy, velikost a stupeň zpevnění, zbytková napětí. Nejzřetelnější je vliv na drsnost obrobeného povrchu. Teoretickou výšku stop po obrábění válcovou frézou lze určit z rovnice :

$$R_m = \frac{s_z^2}{8 R_c}$$

kde R_m je maximální výška nerovnosti, s_z je posuv na zub, R_c je poloměr křivosti cykloidy v místě záběru.

Zvýšením velikosti posuvu by mělo dojít také ke zvýšení hloubky a stupně zpevnění. Změna posuvu působí rovněž

na změnu zbytkových napětí. Podle / 3 / zvýšení posuvu v rozsahu 0,08 až 0,33 mm/zub nevedlo ke změně hloubky zpevnění ani stupeň zpevnění toto zvýšení neovlivnilo. V práci / 4 / se dochází k závěru, že vzhledem k tomu jaké byly použity hodnoty s_z , nemohla být vysledována přesná závislost hloubky a stupně zpevnění na tomto parametru. Při zvýšení posuvu (z 0,06 na 0,13 a potom na 0,25 mm/zub) nebyly patrné výrazné změny hloubky zpevnění, pouze při zvýšení na maximální hodnotu posuvu tj. 0,25 mm došlo ke zvýšení hloubky zpevnění průměrně o $3\mu\text{m}$. Stupeň zpevnění na rostoucím posuvu nebyl závislý.

Podle / 2 / při vyšší v tj. 1386 m.min⁻¹ je vliv změny posuvu na zub na velikost zbytkového napětí nevýznamný. Při v 462 m.min⁻¹ a hloubce řezu 0,5 mm dochází zvětšováním s_z k nárůstu špičky tlakového napětí pod povrchem.

2.1.5. Hloubka řezu

Zvýšení hloubky řezu by mělo vést ke zvýšení hloubky a stupně zpevnění. Tato oblast není dostatečně vědecky prozkoumaná. Ze zkoušek prováděných / 3 / vyplývá, že zvýšení hloubky řezu z 0,5 na 4 mm vede k zvětšení hloubky zpevněné vrstvy v průměru o $5\mu\text{m}$. Při v 1386 m.min⁻¹ zvýšení h nevyvolá zvětšení hloubky zpevněné vrstvy. Při hloubce řezu 0,5 mm se stupeň zpevnění pohyboval v rozsahu 20 % až 28 %, při h = 4 mm v rozsahu 25 % - 40 %. Podle / 4 / změna h z 0,5 mm na 4 mm se projevila zvýšením hloubky zpevnění v průměru o $6\mu\text{m}$ a zvýšením stupně zpevnění o 2 % až 7 %. Podle / 2 / zvýšením h z 0,5 mm na 4 mm při konstantní v_c a s_z došlo ke zvýšení hloubky zpevnění maximálně o 15 %.

2.1.6. Řezná kapalina

Fyzikální jevy vznikající při obrábění hliníkových slitin představují významné teoreticko-praktické problémy, protože jsou spojeny s velmi vážnými otázkami :

- kvality povrchu obrobené plochy
- pevnosti a spolehlivosti nástrojů
- efektivnosti řezných kapalin

Volba vhodné řezné kapaliny je pro hospodárné obrábění lehkých slitin velmi důležitá. Úkolem řezné kapaliny je chladit nástroj, obrobek, zmenšit tření, mazat nástroj, zabránit nalepování materiálu na ostří nástroje a odvádět třísky z místa řezu.

Jako řezné kapaliny se při obrábění hliníkových slitin většinou používá vodních emulzí z vrtacích olejů nebo emulgačního tuku v poměru 1:10.

Vodní emulze a neaktivní roztoky mají většinou nepodstatný vliv na zpevnění a zbytková napětí. Zlepšují však kvalitu obrobené plochy. Olejové, chemicky aktivní kapaliny mají pravděpodobně větší vliv na zpevnění a zbytková napětí.

Vliv řezné kapaliny je tím výraznější, čím menší je velikost posuvu a řezné rychlosti. S růstem posuvu je působení kapalin na zbytková napětí nižší. Efektivnost řezných kapalin je tím větší, čím větší je opotřebení břitu řezného nástroje. Vliv kapaliny je tím menší, čím je větší posuv a řezná rychlost. / 3 /

2.1.7. Způsob frézování

Válcovou frézou můžeme obrábět sousledným nebo nesousledným způsobem. Při nesousledném způsobu frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka

třísky se při průchodu zubu materiálem obrobku mění od nulové hodnoty do maxima. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu.

Při sousledném způsobu frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Sousledné frézování může probíhat pouze na stroji s vymezenou vůlí a předpětím mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, obrobku, nebo i stroje. Řezná síla "přitlačuje" obrobek ke stolu.

Při vzájemném porovnání lze shrnout hlavní výhody obou způsobů :

a) nesousledné frézování

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku

- není třeba vymezovat vůli

- záběr zubu frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu

- menší opotřebení šroubu a matice

b) sousledné frézování

- vyšší trvanlivost břitu, což umožňuje použití vyšších rezných rychlostí a posuvu

- menší potřebný rezný výkon

- menší sklon ke chvění

- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku
- obvykle menší drsnost obrobeného povrchu

Podle / 3 / při frézování vysokými řeznými rychlostmi se jeví jako výhodnější sousledné frézování u kterého se drsnost povrchu s růstem v příliš nemění. Při frézování nesousledným způsobem jsou parametry drsnosti srovnatelné s hodnotami při frézování sousledném. Těmto poznatkům se blíží i práce / 4 /, pokud se týká zpevnění a zbytkového pnutí uvádí, že rozdíl hodnot parametru zpevnění při frézování sousledným a nesousledným byl minimální. Při sousledném frézování byl zaznamenán nepatrný pokles hloubky zpevnění, ale naopak nárůst stupně zpevnění. Při sousledném frézování byla zjištěna hloubka vrstvy ovlivněná zbytkovým napětím v průměru o $4\ \mu\text{m}$ větší než při nesousledném způsobu. Charakter zbytkových napětí v povrchové vrstvě byl u sousledně frézovaných vzorků tlakový, ale těsně pod povrchem se měnil na tahový. Při nesousledném frézování bylo zbytkové napětí v povrchové vrstvě tlakové. Zpráva / 2 / shrnuje tyto výsledky a uvádí :

a) sousledné frézování

- průběh zbytkového napětí není monotonní, ale těsně pod povrchem se může vyskytovat jak tlak tak i tah, při čemž maximální hodnota tlakového napětí je 150 MPa.

- velikost špičky tlakového napětí je pro stejné řezné podmínky minimálně poloviční oproti nesouslednému frézování

b) nesousledné frézování

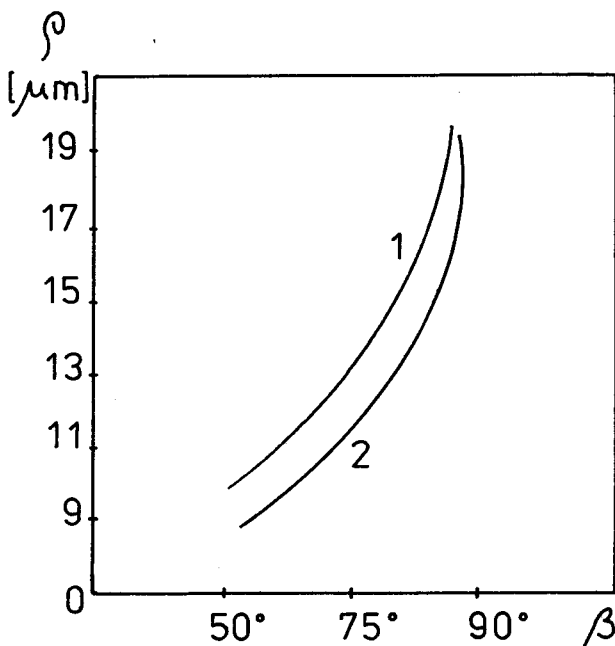
- průběh zbytkového napětí je monotonní a tlakový a nabývá maximálních hodnot 200 až 250 MPa.

2.1.8. Řezný nástroj

Úběru materiálu z obrobku se činně zúčastňuje břit, čelo a hřbet rezného nástroje. Změna drsnosti čela a hřbetu, jakož i změna drsnosti břitu se při obrábění na čisto poněkud projevuje na výšce nerovností vznikajících na obráběné ploše. Mikrogeometrie rezných nástrojů je určena těmito hlavními znaky :

- 1) mikrogeometrií čela a hřbetu
- 2) drsností břitu
- 3) velikostí poloměru zaoblení
- 4) mikrogeometrií opěrných a ustavovacích ploch

Poloměr zaoblení ρ má vliv na minimální tloušťku třísky a na stav povrchové vrstvy. Velikost poloměru zaoblení je závislá na úhlu břitu β , na materiálu nástroje a na způsobu ostření a hlazení. Vliv úhlu břitu β na změnu poloměru zaoblení ρ u nástrojů z SK je znázorněn na obr.1.



Obr.1

Změna poloměru zaoblení břitu na břitových destičkách z karbidu H2 podle úhlu břitu :

1. při ostření
2. při ostření a hlazení pastou karbidu bóru

Zvětší-li se úhel břitu β , zvětší se i poloměr zaoblení ρ . Poloměr zaoblení břitu, vzniklý při naostření nebo hlazení

se mění podle otupování nástroje. Pečlivým dokončením pracovních ploch nástroje se poněkud zlepšuje ostrost břitu a částečně se zmenšuje poloměr zaoblení ρ . Zpracováním výsledku zkoušek / 6 / byla získána tato empirická závislost pro určení poloměru ρ :

$$\rho = a \cdot e^{b \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$$

kde a a b jsou konstanty, závislé na materiálu nástroje a na jakosti dokončení jeho čela a hřbetu. β je úhel břitu, $e = 2,7183$. Této závislosti lze použít pro určení ρ při úhlech β od 60° do 100° . Konstanty mají tyto hodnoty :
 pro naostřený nástroj z R0 : $a = 5,8$; $b = 1,5$;
 pro hlazený nástroj s břity z SK je $a = 4,5$; $b = 1,4$.
 Nepříznivý vliv poloměru zaoblení ρ na drsnost povrchu se projevuje nejvíce při $\rho > 50 \mu\text{m}$. U normálních rezných nástrojů z R0 nepřesahuje poloměr zaoblení 18 až $20 \mu\text{m}$. U hlazených (lapovaných) nástrojů z R0 a u nástrojů z SK bývá tento poloměr 12 až $15 \mu\text{m}$. / 6 /.

2.2. Struktura a vlastnosti hliníkových slitin

2.2.1. Rozdělení hliníkových slitin systému Al-Cu

Hliníkové slitiny ve kterých je hlavní legující prvek Cu lze rozdělit do některé z následujících skupin :

1) slévárenské slitiny s 5 % Cu, často s nevelkými přísadami křemíku a hořčíku

2) slévárenské slitiny 7 - 8% Cu, často s vysokým obsahem železa a křemíku a menší koncentrací manganu, chromu, zinku, cínu

3) slévárenské slitiny s 10 - 14 % Cu. Tyto slitiny mohou obsahovat nevelké přísady hořčíku (0,1 - 0,3 % Mg) při koncentraci Fe do 1,5 %, Si do 5 % a menší koncentraci

niklu, manganu, chromu.

4) tvářené slitiny s 5 - 6 % Cu, často s nevelkými přísadami Mn, Si, kadmia, vizmutu, cínu, lithia, vanadu, zirkonu. Slitiny tohoto typu, obsahující olovo, vizmut, kadmium zlepšují obrobitelnost.

5) duraluminy, základní složení slitin : 4 - 4,5 % Cu, 0,5 - 1,5 % Mg, 0,5 - 1,5 % Mn, někdy s přísadou Si.

6) slitiny s mědí a niklem

2.2.2. Struktura Al - slitin

Struktura litých slitin se skládá z dendritů hliníkového tuhého roztoku a křehké více či méně nepřetržité sítě eutektik. Čím je nižší obsah mědi a vyšší rychlost ochlazování, tím více jsou rozdrobeny eutektika. Při vysokém obsahu železa nebo při podmínkách ochlazování zlepšující segregaci, se mohou objevit první krystaly sloučeniny železa. Ve slitinách se sníženým obsahem mědi ohřev pod teplotu kalení způsobí rozpouštění a sferoidizaci rozpustných složek, rozrušení eutektické sítě a znatelné zvýšení plastičnosti. Plastická deformace také rozrušuje křehkou síťku a přerozděluje složky. Proto struktura deformovaných (tvářených) polotovarů je složena z matrice hliníkového tuhého roztoku s rozloženými strukturními složkami.

Fáze (oblasti) tvořící ve slitinách sloučeniny je možno rozdělit na dvě skupiny :

- rozpustné, ve kterých je obsažen jeden nebo více legující prvek z následujících : měď, lithium, hořčík, křemík, zinek

- nerozpustné, do kterých patří jeden z více či

méně nerozpustných prvků : železo, mangan, nikl a pod.
 Typ rozpustných sloučenin nezávisí ani tak na obsahu rozpustných prvků ve slitině jako na jejich vztahu. Koncentrace užitečné mědi závisí na obsahu železa, manganu a niklu. Měď tvoří se železem sloučeninu $(\text{CuFe})\text{Al}_6$ a Cu_2FeAl_7 , s manganem $(\text{Cu Fe Mn})\text{Al}_6$ a $\text{Cu}_2\text{Mn}_3\text{Al}_{20}$, s niklem Cu_4NiAl_7 . Existuje ještě několik nedostatečně poznanych sloučenin mědi se železem a niklem. Obsah křemíku do určitého stupně určuje typ tvořící se sloučeniny mědi. Při koncentraci více než 1% křemík způsobuje vytvoření FeSiAl_5 místo sloučenin železa s mědí a $(\text{Cu Fe Mn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$ místo sloučenin $(\text{Cu Fe Mn})\text{Al}_6$ a $\text{Cu}_2\text{Mn}_3\text{Al}_{20}$. Při menší koncentraci je to analogické ale v menší míře, Efektivnost křemíku závisí na obsahu Fe a Mn.

Při $\text{Cu} : \text{Mg} < 2$ a $\text{Mg} : \text{Si} > 1,7$ se vytvoří $\text{Cu Mg}_4\text{Al}_6$

Při $\text{Cu} : \text{Mg} > 2$ a $\text{Mg} : \text{Si} > 1,7$ vzniká fáze Cu Mg Al_2

Jestliže $\text{Mg} : \text{Si} \approx 1,7$ fáze Mg_2Si a Cu Al_2 jsou v rovnováze; při $\text{Mg} : \text{Si} = 1$ vzniká $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ obyčejně také s fází Cu Al_2 .

Práce / 14 / charakterizuje duraluminy jako mnohokomponentní slitiny pro které jsou příznačné složité fázové systémy.

Příměsi železa, Si a Mn vstupují do tuhého roztoku nebo se nachází ve formě chemických sloučenin Mn Al_6 , Al Fe Si Mn nebo Al Fe Cu Si . Sloučenina Cu Al_2 má tetragonální mřížku, fáze $\text{Al}_2\text{Cu Mg}$ romboedrickou mřížku. Obě fáze jsou charakteristické velkou tvrdostí a pevností a proto, jsou-li obsaženy ve slitinách zvyšují pevnost duraluminů. Zvyšuje-li se obsah Mg množství fáze Cu Al_2 se zmenšuje a množství fáze $\text{Al}_2\text{Cu Mg}$ se zvětšuje. Ve slitinách s 4 - 5 % Cu