

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **ANALÝZA PODMÍNEK OBRÁBĚNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN**

**CUTTING CONDITIONS ANALYSIS OF ALUMINIUM AND ITS ALLOYS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ADAM JELÍNEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. BOHUMIL BUMBÁLEK, CSc.**

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE**

student(ka): Adam Jelínek

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

### **Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin**

v anglickém jazyce:

### **Cutting conditions analysis of aluminium and its alloys**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hliník a jeho slitiny jsou dosti problematickým materiálem pro obrábění, zvláště při obrábění bez chlazení. Tyto problémy jsou způsobeny jeho tepelnou vodivostí a náchylností k adhezi na cele nástroje. Vhodné nástroje pro obrábění jsou povlakované.

Cíle bakalářské práce:

Rozebrat podmínky obrábění a provést analýzu mechanismu tvoření třísky a jakosti povrchu

1. Strukturní a fyzikální vlastnosti slitin
2. Obrobitelnost
3. Zvláštnosti z hlediska obrábění
4. Nástrojové materiály
5. Jakost povrchu po obrábění

Seznam odborné literatury:

1. SBORNÍK KONFERENCE ALUMINIUM 2007, Transaction of the Universities of Košice.5. mezinárodní konference, Doksy-Staré Splavy 10-12.10.2007 .ISSN 1335-2334. Vadal ADIN s.r.o.389 s.
2. MICHNA. Š. et all. Encyklopedie hliníku. 1.vyd. ADIN s.r.o. Prešov
3. BUMBALEK. L., BUMBALEK. B., LIŠKUTIN. P, MAZAL.P. Vlastnosti povrchové vrstvy slitiny AlCu4Mg1, 5.Mezinárodní konference ALUMINIUM 2007. Fakulta Košice 2007, str.318-324.
4. BUMBALEK, B., MAZAL. P., LIŠKUTIN, P. Vlastnosti povrchové vrstvy slitiny AlCu4Mg1 a jejich vliv na únavu. Mezinárodní konference ALUMINIUM 2007. Fakulta Košice 2007. str.325-332

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 8.12.2008

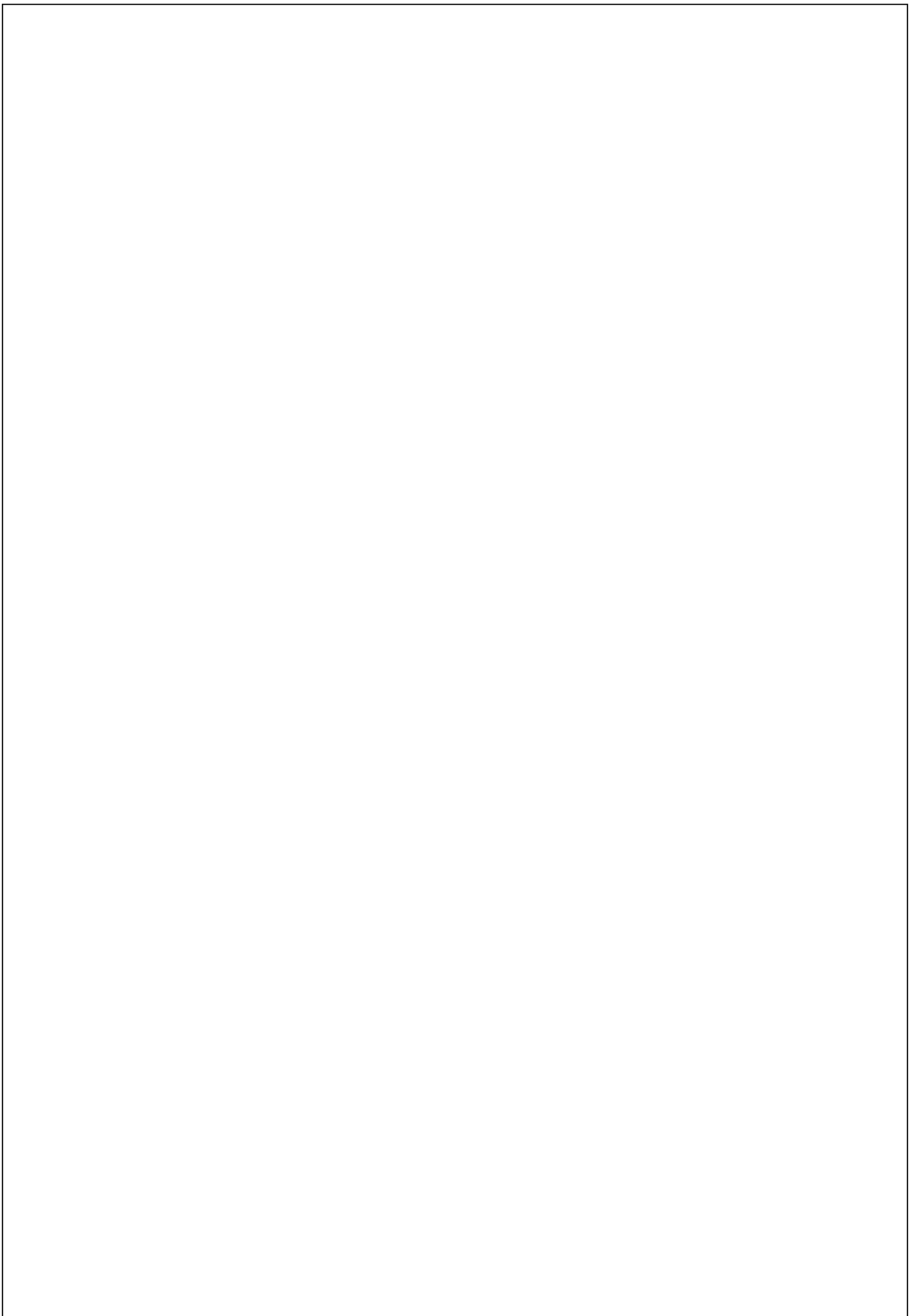
L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



**ABSTRAKT**

Obrábění hliníku a hliníkových slitin je problém, který je zde řešen. K jehož největším problémům patří správné zvolení nástrojového materiálu a tím následná eliminace lepení obráběného materiálu na nástroj. Dalším důležitým faktorem je optimální zvolení řezných podmínek, při kterých bude obrábění nejefektivnější.

**Klíčová slova**

Slitiny hliníku, obrobiteľnosť, nástrojové materiály

**ABSTRACT**

Machining aluminum and aluminum alloy is a problem which is solved here. The most important problems are a good tool selection the material and the subsequent elimination of the machined material sticking on the tool. Other important factor is to select the optimum technological parameters, which will be the most efficient for machining.

**Key words**

Aluminum alloys, workability, tool materials

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JELÍNEK, Adam. *Název: Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 29 s., 2 přílohy. Vedoucí práce prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Analýza podmínek při obrábění hliníku a jeho slitin“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 29.5.2009

.....

Adam Jelínek

## **Poděkování**

Děkuji tímto prof. Ing. Bohumilu Bumbálkovi, CSc. za cenné rady, podněty a připomínky týkající se bakalářské práce. Rovněž děkuji za půjčení odborné literatury a volný čas, který mi věnoval.

**OBSAH**

Abstrakt .....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod .....	8
1 STRUKTURNÍ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI HLINÍKU A JEHO SLITIN .....	9
1.1 Charakteristika a vlastnosti hliníku.....	9
1.2 Charakteristika a vlastnosti slitin hliníku.....	10
1.2.1 Slévárenské hliníkové slitiny .....	10
1.2.2 Hliníkové slitiny pro tváření.....	10
1.2.3 Automatové slitiny hliníku .....	10
1.2.4 Rozdělení podle označení, přísad a tepelného zpracování .....	11
2 OBROBITELNOST .....	12
2.1 Třídy obrobitelnosti .....	13
2.2 Tvary třísek .....	14
3 ZVLÁŠTNOSTI Z HLEDISKA OBRÁBĚNÍ .....	15
3.1 Tvoření nárůstku .....	15
3.2 Geometrie nástroje .....	15
3.3 Volba řezné rychlosti .....	16
4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY.....	17
4.1 Uhlíkové oceli .....	17
4.2 Rychlořezné oceli.....	18
4.3 Slinuté karbidy .....	18
4.3.1 Povlakované SK .....	19
4.3.1.1 Metody povlakování .....	19
4.3.1.2 Druhy povlaků .....	20
4.3.2 Leštěné SK.....	21
4.4 Diamant .....	21
5 JAKOST POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ.....	23
5.1 Metoda měření .....	23
5.2 Povrchové vlastnosti slitiny AlCu4Mg1 .....	24
Závěr .....	25
Seznam pramenů .....	26
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	28
Seznam příloh .....	29



## ÚVOD

Hliník je třetím nejvíce se vyskytujícím prvkem v zemské kůře. V přírodě se vyskytuje přibližně ve 250 různých minerálech. Nejvýznamnější ekonomicky využitelnou rudou pro výrobu hliníku je bauxit. Z počátku byl velmi vzácný a používal se jen na výrobu šperků. První zmínka použití v průmyslu se datuje od roku 1859. [4]

Hliník a jeho slitiny jsou v poslední době považovány za nejpoužívanější a za nejvíce se rozšiřující prvek řazený do oblasti neželezných kovů. Setkáváme se s ním takřka v každodenním životě a v některých odvětvích je naprosto nepostradatelný. Použití slitin hliníku má velké zastoupení v dopravě. Z pohledu obrábění je slitina hliníku nejvíce používána v automobilovém průmyslu, díky své nízké hmotnosti a mechanickým vlastnostem. Další oblastí je letecký průmysl, kde je kladen důraz na hmotnost a mechanické vlastnosti zejména pod bodem mrazu, kde je hliník materiálem číslo 1.

Obrábění slitin hliníku lze považovat za bezproblémové při zvolení správných rezných podmínkách. Důležitým faktorem je zvolení chlazení a taky nástrojového materiálu. Není jednoznačný názor který materiál zvolit, proto se nejčastěji volí mezi slinutými karbidy a diamanty. Pro lepší obrábění jsou nástroje povlakovány z důvodu nízké adheze.

## 1 STRUKTURNÍ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI HLINÍKU A JEHO SLITIN

V dnešní době je hliník a jeho slitiny jednoznačně nejpoužívanějším prvkem, který se řadí do skupiny neželezných kovů. Důvod rozsáhlého využití jsou jeho příznivé vlastnosti a jeho výjimečnost oproti ostatním neželezným kovům, jako jsou např. měď, nikl a titan.

Nicméně větší použití, než-li čistý hliník mají slitiny hliníku. Hlavním důvodem, proč je tomu tak, je že se radikálně zvyšují jejich mechanické vlastnosti. [4]

### 1.1 Charakteristika a vlastnosti hliníku

Chemickou značkou hliníku je Al (lat. Aluminium), je velmi lehký kov bělavě šedé barvy. Vyznačuje se vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí s poměrně vysokou hodnotou měrného tepla taní a taky vysokým poměrem meze pevnosti v tahu a tlaku. Pevnostní charakteristiku je možné intenzivním tvářením zvýšit. Významnou vlastností hliníku je jeho poměrná stálost na vzduchu. [5]

Tab. 1.1 Fyzikální vlastnosti hliníku [4]

Vlastnosti	Hodnoty
Atomové číslo	13
Skupenství	Pevné (při 20 °C)
Mřížka	K12
Parametr mřížky	$a = 0,404958 \text{ nm}$
Hustota	$2.6989 \text{ g.cm}^{-3}$ (při 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Teplota varu	2494 °C
Tepelná vodivost	$247 \text{ W.m}^{-1}$ (při 25 °C)
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Tepelná supravodivost	1,2 K

## 1.2 Charakteristika a vlastnosti slitin hliníku

Větší využití je u slitin hliníku, které se docílí změnou chemického složení. Dosahuje se toho nalegováním jedním nebo více prvků. Správnou kombinací prvků a dle druhu použití dochází ke změně původních vlastností hliníku. Tím následně dochází ke zlepšení pevnostních, chemických, technologických a v neposlední řadě fyzikálních vlastností. Rozdělení slitin hliníku je hned několik a záleží jen na kritériu, které je pro nás nejdůležitější.[1]

Rozdělení dle použití:

- slévárenské hliníkové slitiny,
- hliníkové slitiny pro tváření,
- automatové slitiny hliníku.

### 1.2.1 Slévárenské hliníkové slitiny

V průmyslu se slévárenské slitiny používají ve větším množství než slitiny tvárené. Hlavním důvodem je možnost odlévat tenkostěnné odlitky i složitých tvarů a v žádném případě se nezmění vlastnost slitin od tvárených. Jako hlavní legující prvek je používán křemík, který má příznivé vlastnosti na slévatelnost. Známý jsou taky jako siluminy (vychází z chem. značky Si - křemík). Siluminy jsou vytvrditelné, houževnaté, odolné proti vodě, ale jejich nevýhodou je špatná obrobitelnost. Používá se hlavně v leteckém průmyslu a pro speciální vozidla. Za zmínku stojí ještě řada slitin Al-Si-Cu, která se používá na výrobu tenkostěnných odlitků motorů. [7]

### 1.2.2 Hliníkové slitiny pro tváření

Tvárené slitiny mají rozdělení do dvou skupin a to podle mechanických vlastností. S vysokými mechanickými vlastnostmi - mají vysokou pevnost, ale menší odolnost proti korozi, základními přísadami jsou Cu nebo Zn. Se středními mechanickými vlastnostmi - mají menší pevnost, ale vyšší odolnost proti korozi, základními přísadami jsou Mg, Mn, popř. Si. Nejznámější a nepoužívanější slitiny jsou obsaženy v příloze 1. [7]

### 1.2.3 Automatové slitiny hliníku

Automatové slitiny se charakterizují tvorbou drobné lámavé třísky. Toho je docíleno legovanými prvky, které se vyznačují nízkou teplotou tání. To je způsobeno nerozpouštěním prvků v základní hliníkové matici a jsou tvořeny měkké částice. Nejznámější automatové slitiny jsou AlMgSiPb, AlCu4PbMg a AlCu6BiPb. Olovo, které se používalo dříve, se z důvodu škodlivosti na lidský organismus nahrazuje cíne. [6]

#### **1.2.4 Rozdělení podle označení, přísad a tepelného zpracování**

Slitiny hliníku lze rozdělit i podle označení, které se používá v praxi. Dle normy používané u nás se řadí do 8 řad, které určují dodatečný slitinový prvek a slouží k rychlé orientaci.

##### Podle označení:

- řada 1000 - hliník minimálně 99.00% a více,
- řada 2000 - slitina Al-Cu (nejznámější AlCu4Mg1 dural),
- řada 3000 - slitina Al-Mn,
- řada 4000 - slitina Al-Si,
- řada 5000 - slitina Al-Mg,
- řada 6000 - slitina Al-Mg-Si,
- řada 7000 - slitina Al-Zn,
- řada 8000 - slitina Al s různými prvky.

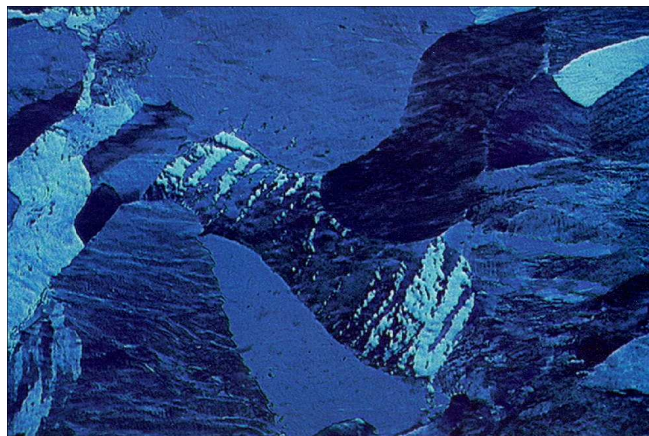
##### Podle hlavních přísad:

- siluminy (Al-Si),
- duralaluminium (Al-Cu),
- hydronalium (Al-Mg).

##### Podle tepelného zpracování:

- vytvrditelné,
- nevytvrditelné.

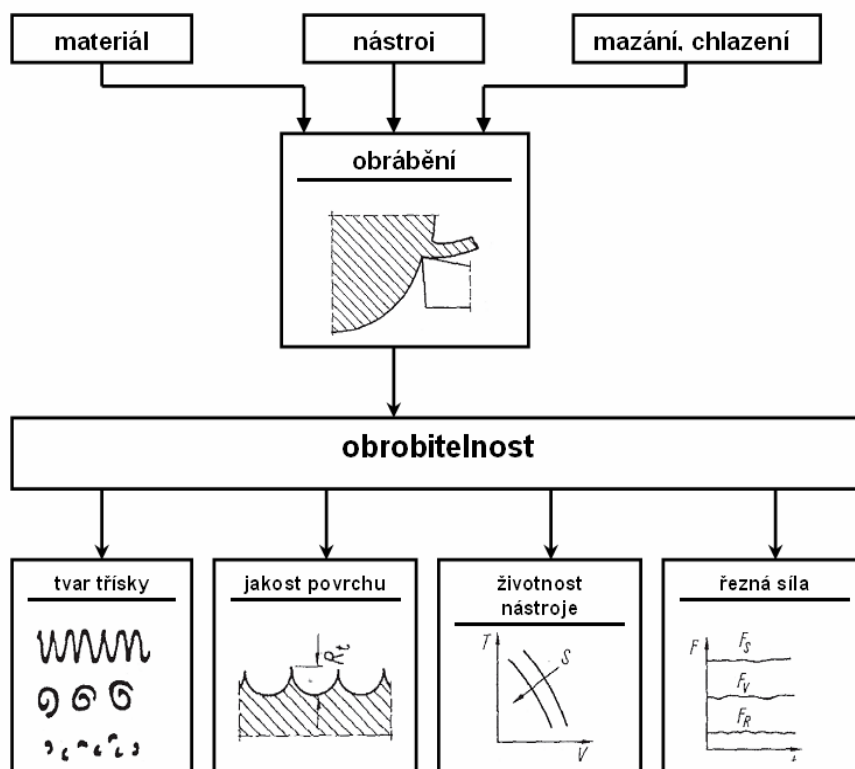
[4]



Obr. 1.1 Struktura čistého hliníku Al 99,99 [8]

## 2 OBROBITELNOST

Obrobitelnost je základní technologická vlastnost, která u materiálu udává vhodnost k obrábění. Je to souhrn vlivů mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, chemického složení, tepelného zpracování, struktury a způsobu výroby polotovaru na kvalitativním, kvantitativním a ekonomickém výsledku řezného procesu. Obrobitelnost nevychází pouze z obráběného materiálu, ale závisí i na obráběcím nástroji a na řezných podmínkách (mazání a chlazení). [3]



Obr. 2.1 Parametry charakterizující obrobitelnost [9]

Obecně lze říct, že hliníkové slitiny patří ve srovnání s ostatními kovovými konstrukčními materiály mezi ty lépe obrobitelné. Například ve srovnání s oceli stejné pevnosti jsou řezné síly u hliníkových slitin výrazně menší. Obrobitelnost čistého hliníku je velmi špatná oproti obrobitelnosti hliníkových slitin, které se považují za velmi dobré. Výrazný rozdíl mezi obrobitelností čistého hliníku a slitinami hliníku spočívá ve struktuře. Vliv precipitátů, měkkých částic a v neposlední řadě i stupeň deformačního zpevnění působí na obrobitelnost hliníkových slitin velmi příznivě. [4]

Faktory ovlivňující hodnocení obrobiteľnosti:

- způsob výroby a tepelného zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- řezné podmínky,
- řezné prostředí,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

[9]

## 2.1 Třídy obrobiteľnosti

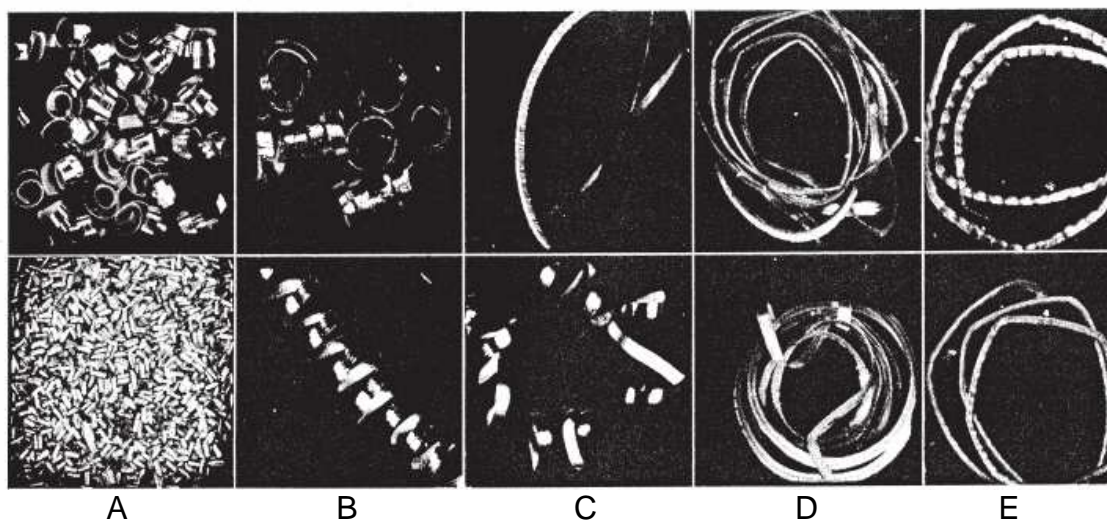
Ve strojírenství se součinitel obrobiteľnosti vyjadřuje poměrem řezné rychlosti zkoušeného materiálu k řezné rychlosti dosažené u etalonového materiálu za stejných podmínek. Z důvodu, že by výsledný součinitel byl nepřehledný a složitě by udával charakter, tak se vytvořila skupina 20 - ti tříd. Třídy jsou odstupňovány podle geometrické řady, s kvocientem  $q = 1,2589$ . Čím vyšší je označení třídy, tím je obrobiteľnost lepší. [3]

Tab. 2.1 Součinitel obrobiteľnosti a korespondující třídy obrobiteľnosti [3]

Součinitel obrobiteľnosti $K_V$		Třída obrobiteľnosti materiálu
Od - do	Střední hodnota	Hliník
0,36 - 0,44	0,40	6 d
0,45 - 0,56	0,50	7 d
0,57 - 0,71	0,63	8 d
0,72 - 0,89	0,80	9 d
0,90 - 1,12	1,00	10 d
1,13 - 1,41	1,26	11 d
1,42 - 1,78	1,59	12 d
1,79 - 2,24	2,00	13 d

## 2.2 Tvary třísek

Jedním z nejdůležitějších parametrů při hodnocení obrábění slitin hliníku je tvar třísky. Pro zhodnocení tvaru třísky se používá vizuální zkouška, a tříska je posléze zařazena do jedné z pěti skupin, které jsou označeny A - E. U nevytvrzovaných slitin se tvoří tříska dlouhá spojitá, která je nepříznivá a snažíme se zamezit jejímu vzniku. Kdežto u vytvrzovaných slitin je tříska dlouhá stočená a dochází ke snadnému lámání. [4]



Obr. 2.2 Typické třísky rozdělené do skupin podle tvaru [4]

- A - velmi krátká a lámavá tříska, dobře obrobitelný materiál, vynikající jakost povrchu
- B - stočená nebo dělená tříska, dobrý až výborný povrch
- C - plynulá tříska, dobrá jakost povrchu
- D - plynulá tříska, vyhovující povrch
- E - špatná tříska, nutné nastavit podmínky obrábění, aby bylo dosaženo lepší třísky a lepší jakosti povrchu

Tab. 2.2 Řezné podmínky pro získání tvarů třísek [9]

Obrobitelná skupina	Slitina	Rychlost (m/min)	Posuv (mm/ot)	
			dolní snímek	horní snímek
A	2011-T3	120	0,066	0,152
B	2024-T4	30	0,152	0,264
C	6061-T6	120	0,152	0,264
D	3004-H32	120	0,152	0,264
E	1100-H12	120	0,152	0,264

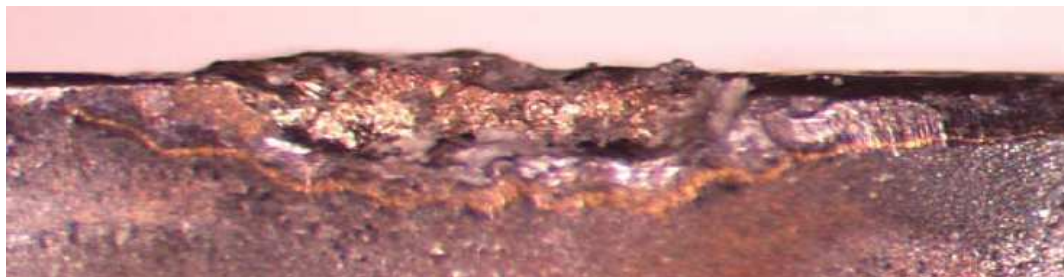


### 3 ZVLÁŠTNOSTI Z HLEDISKA OBRÁBĚNÍ

Obrábění hliníku a jeho slitin se uplatňuje především v automobilovém průmyslu. Proto zde dochází ke zvláštnostem při jeho obrábění v porovnání s nástroji pro obrábění ocelí a litin. Hliník a jeho slitiny se při obrábění za sucha řadí k problematickým materiálům i přes nízké mechanické vlastnosti. Je to způsobeno nízkou teplotou tavení, vysokou tepelnou vodivostí a sklonem k adhezi. Z tohoto důvodu je potřeba vytvořit optimální podmínky, zejména z hlediska použitého rezného materiálu, tvarů a typů použitých nástrojů. [8, 10]

#### 3.1 Tvoření nárůstku

Jedním z největších problémů při obrábění je cyklické tvoření nežádoucího nárůstku. Jak by se mohlo zdát, nárůstek neroste pouze směrem ven, ale i směrem dovnitř. Což má za následek nerovnoměrné odebrání materiálu a tím se zvyšuje drsnost obráběné plochy při obrábění s nárůstkem. Největší podíl na tvorbě nárůstku má u hliníku a jeho slitin třecí napětí na břitu nástroje. U hliníku a jeho slitin dochází díky nízké teplotě tavení k problému s utvářením třísky a jejím následným odvodem. To má za následek nalepování na břit nebo na čelo nástroje a vytváření nárůstku. Ke snížení tvoření nárůstku se u nástrojů provádí povrchová úprava - mikroleštění, tím se následně snižuje adheze a to se projeví ve zlepšené drsnosti obrobené plochy. Další možností je aplikace ochranné vrstvy s nízkým koeficientem tření  $\mu = 0,1 - 0,2$  (např.  $TiB_2$ ,  $MoS_2$ , DLC vrstvy). [10]



Obr. 3.1 Vytvoření nárůstku [8]

#### 3.2 Geometrie nástroje

Všeobecným trendem při obrábění slitin hliníku je volit nástroj s ostrým pozitivním břitem. Při obrábění slitin hliníku vzniká problém s odvodem třísky, proto geometrie břitu musí splňovat vysoké požadavky na odvod třísky. V případě utváření dlouhé spojité třísky je zapotřebí utvářeče, který zamezuje namotávání na nástroj a redukuje délku třísky. Pro obrábění není nutné volit velké rezné rychlosti, proto se volí vyměnitelné břitové destičky, které mají pozitivní geometrii břitu, malý úhel a poloměrem špičky. [9]



### 3.3 Volba řezné rychlosti

Řeznou rychlost je možno definovat jako pohyb rozložený do dvou složek, kterými jsou hlavní pohyb a posuv. U nejčastějších obrábění (soustružení, frézování, vrtání) probíhají oba pohyby současně, ale u některých jsou odděleny. Při obrábění hliníku a jeho slitin, záleží na zvolené metodě obrábění a na druhu zvoleného nástrojového materiálu. Příklad použití materiálů a řezných rychlostí pro vrtání viz. příloho 2. [3]

Tab. 3.1 Řezné rychlosti základních obráběcích operací [10]

Druh obrábění	Druh materiálu	Hrubování ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Na čisto ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )
Soustružení	RO	150	150
	SK	až 1000	až 1000
Frézování	RO	250	375
	SK	1200	2000

## 4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

Jedním z hlavních prvků při obrábění je materiál nástroje. Nástrojový materiál je zvolený podle obráběného materiálu, kinematiky stroje, požadavků na jakost povrchu a v neposlední řadě záleží i na ekonomickém hledisku. Trvanlivost není tím nejdůležitějším hlediskem, ale v dnešní době záleží i na ceně materiálu, možnosti dalšího využití (přebroušení) a řezných podmínkách. Nástroj může být tvořen jedním materiálem, nebo se může skládat z více segmentů. Pro obrábění hliníkových slitin není nástrojový materiál přesně definovaný, ale je novodobým trendem používat SK a diamanty. [2]

Rozdělení nástrojových materiálů do skupin:

- oceli - uhlíkové
  - slitinové - nízkolegované
  - vysokolegované
  - rychlořezné (RO),
- stěliny,
- slinuté karbidy (SK),
- nekovové materiály,
- supertvrdé materiály - polykrystalický kubický nitrid boru
  - polykrystalický diamant,
- boridy,
- nitridy,
- brusivo.

[11]

### 4.1 Uhlíkové oceli

Uhlíkové nástrojové materiály se začali používat jako první. Tvrdost uhlíkových nástrojových ocelí, které obsahují 0,6 - 1,3 % uhlíku se dosahuje zakalením do vody, kde získá martenzitickou strukturu. Materiál může být použit pouze za nízkých řezných podmínek kde nedochází k velkým teplotám, protože by došlo k rozpadu martenzitické struktury a následnému snížení tvrdosti. Použití uhlíkových nástrojových ocelí je vhodné pro měkké materiály, jako je např. měď, ocel a litinu pouze za nízkých řezných podmínek. [11]

## 4.2 Rychlořezné oceli

Rychlořezné nástrojové materiály se začali používat z důvodu zvýšení řezných rychlostí. Nástrojové materiály RO obsahují legující prvky wolfram, mangan, a chrom a z pravidla uhlík méně než 1%. Snášejí teplotu na břitu nástroje 500 - 700 °C a řeznou rychlost 25 - 50 m·min<sup>-1</sup>. Vyznačují se střední odolností proti opotřebení a vysoko lomovou pevností. Pro optimální využití materiálu z RO je vhodné použít řezné prostředí (řezná emulze, olej). Nově se začali vyrábět RO práškovou metalurgií. Jsou výhodné z důvodu rychlého tuhnutí a rovnoměrného rozložení karbidů. Vyrábějí se metodou ASP. [3]

Tab. 4.1 Rychlořezné oceli ASP vyrobeny práškovou metodou [3]

ASP	Složení						Tvrdost HV
	C	Cr	Mo	W	V	Co	
23	1,28	4,2	5,0	6,4	3,1	-	840-900
30	1,28	4,2	5,0	6,4	3,1	8,5	
60	2,30	4,0	7,0	6,4	6,5	10,5	

## 4.3 Slinuté karbidy

Při obrábění hliníkových slitin zaujímají velkou část využití slinuté karbidy, které jsou vyráběny metodou práškové metalurgie. Velikost jedné částice prášku pro výrobu karbidu je menší než 1µm. Slinuté karbidy jsou slinutinou wolframu (WC), titanu (TiC), tantalu, chromu a dalších kovů. Jako pojivo se používá kobalt. Tvrdost SK je dána samotnou povahou materiálu a proto se už neprovádí žádné tepelné zpracování pro zvýšení tvrdosti. SK jsou zařazeny do 6 základních skupin, které jsou rozděleny podle obráběného materiálu. [15]

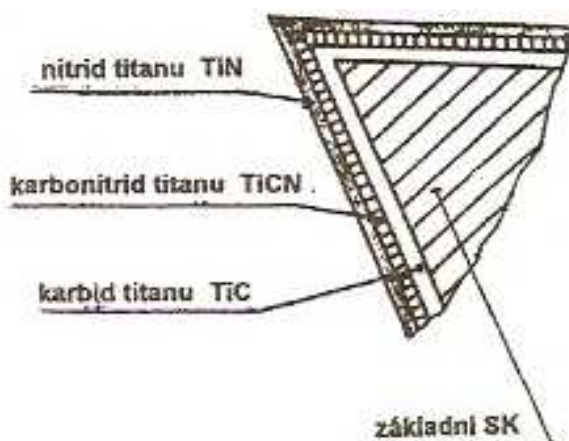
Tab. 4.2 Rozdělení slinutých karbidů podle ISO [12]

Symbol	Obráběný materiál
P	uhlíkové oceli třídy 10, 11, 12 nízko a středně legované oceli sk. 13 legované oceli tříd 14, 15, 16 feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (tř. 17 a lité 4229..) nástrojové oceli uhlíkové (19 1 - 3...) legované nástrojové oceli (19 3 - 8..) uhlíková ocelolitina sk. 26 (4226..) nízko a středně legované ocelolitiny sk. 27 (42 27..)
M	austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné
K	šedé litiny nelegované i legované (42 24..) tvárné litiny (42 23..) temperované litiny (42 25..)

M	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 - 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 - 85

#### 4.3.1 Povlakované SK

Pro zvýšení otěruvzdornosti a větší houževnatosti jádra se začali používat SK povlakované, které mají uplatnění u obrábění hliníku a jeho slitin. Povlakovat je možné jednou nebo více vrstvami. Jednovrstvé povlaky jsou nejčastěji tvořeny TiC nebo TiCN, a jejich tloušťka dosahuje až 13  $\mu\text{m}$ . U vícevrstevných povlaků se na SK tvořené nejčastěji WC + TiC nanášejí postupně vrstvy podle pořadí TiC, TiCN, TiC. [3]



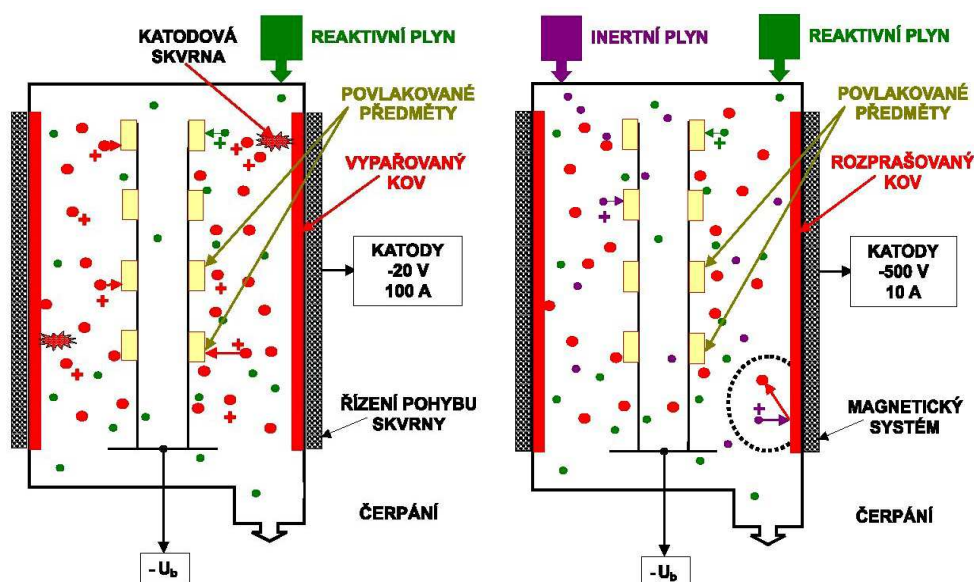
Obr. 4.1 Třívrstvý povlak břitu [3]

##### 4.3.1.1 Metody povlakování

###### PVD metoda povlakování

Spočívá v odpaření nebo odfouknutí pevné látky v řízené atmosféře. Je to metoda poměrného rozložení tvrdosti a houževnatosti. Povlakování dosahuje tloušťky 2 - 5  $\mu\text{m}$  a může být jak jednovrstvé tak i vícevrstvé. Je pro ni charakteristická nízká pracovní teplota a proces povlakování probíhá od tlaku 0,1 - 1 Pa. Výhodná je možnost povlakovat ostré hrany, naproti tomu nevýhodou je pro ni složitá a náročná příprava (odmašťování a čištění). U napařování dochází k odpařování díky elektrickému oblouku. Při reakci vypařovaného kovu a reaktivního plynu dochází k dopadání částic na povrch předmětu a vzniká povlak, který je pevně adhezivně spojen.

Naprašování využívá elektrického výboje, při kterém vznikají kationy bombardující katodu kovu připojenou na záporný pól. Tím se z kovu uvolní ionty a chemickou reakcí vzniká potřebný povlak. [15]



Obr. 4.2 Napařování a naprašování

### CVD metoda povlakování

Je první metoda používaná na SK, kde nejsou ještě prozkoumány všechny možnosti a varianty. Provádí se za vysokých teplot 900 - 1200 °C. Povlakovaná tloušťka dosahuje až 13 μm. Výhodou je velká adheze mezi základním materiálem a povlakem, možnost povlakovat i složitější tvary. Naopak nevýhodou je nemožnost napovlakovat ostré hrany a ovlivnění základního materiálu. V 90. letech byla metoda zdokonalá a došlo k nanášení diamantem. Problémem je docílit tenkého spojení mezi povlakem a nástrojovým materiálem. Znásobuje to obsah kobaltu, který má nepříznivý vliv na diamant, které se řeší odleptáváním kobaltu před povlakováním. [15]

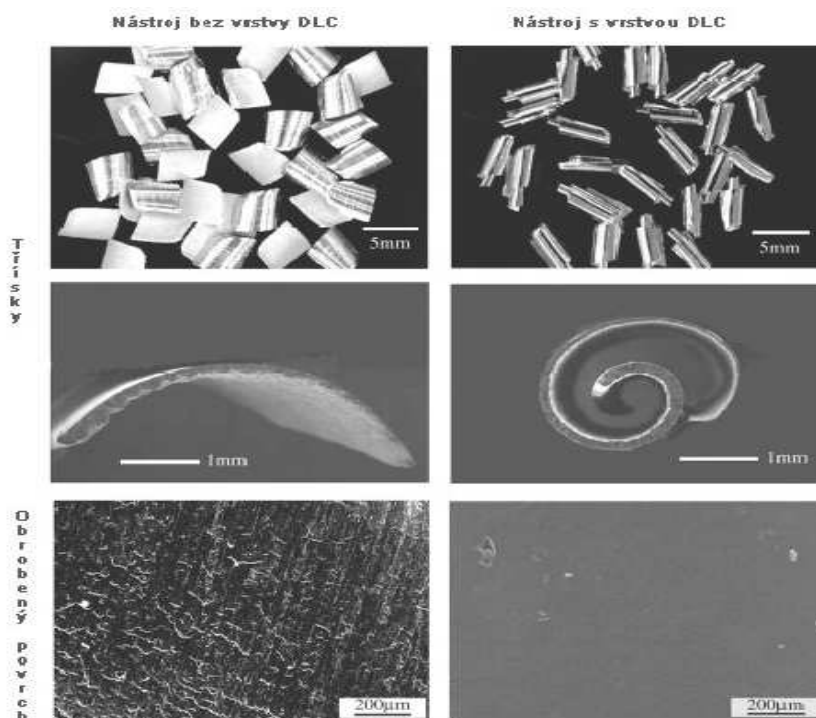
#### **4.3.1.2 Druhy povlaků**

Nitrid titanu  $TiN$ , je jeden ze základních a taky nejrozšířenějších vrstev. Mikrotvrдость se pohybuje od 20 do 25 GPa, je rozpoznatelný svou zlatou barvou. Časté používání je důsledkem ekonomického hlediska. Titan aluminium nitrid  $TiAlN$  je charakterizovaný mikrotvrđostí 25 - 35 GPa, který má růžovofialovou až černošedou barvu. Má poměrně vysokou odolnost proti zvýšeným teplotám. Používá se pro vysokorychlostní obrábění. Při řezání zvyšuje difúzní odolnost a snižuje tření. DLC diamantový povlak se vyznačují velmi nízkým koeficientem tření a vysokou mikrotvrđostí až 60 GPa, který je

rozpoznatelný černou barvou. Používá se především v automobilovém průmyslu pro obrábění hliníkových slitin. [13]

#### 4.3.2 Leštěné SK

Kromě povlakování se SK taky leští. Zamezí se tím tvorbě nárůstku, nalepování slitiny hliníku a taky příznivým vlivem ovlivňuje drsnost obrobene plochy a rozměrovou přesnost obrobku. Naleštěné povrchy dosahují drsnost  $R_a 0,05 \mu\text{m}$  a tím i nižší koeficient tření. [8]



Obr. 4.3 Typy třísek a jakost povrchu při frézování za sucha bez DLC a s DLC [8]

#### 4.4 Diamant

Podle Mohsovy stupnice tvrdosti je diamant na nejvyšším 10. místě na stupni. Diamant je rozlišen podle původu na přírodní nebo syntetický, který je vyroben uměle. Předností přírodního diamantu je jeho tvrdost a dokonalá řezná hrana. Malou houževnatostí dochází k občasnému vyštipování. Z důvodu nízkou teplotní stálostí (okolo  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se nepoužívá na obrábění ocelí a litin. Má však velké uplatnění při obrábění neželezných kovů jako je hliník a jeho slitiny. Pro obrábění diamantovými nástroji je doporučováno chlazení běžnými kapalinami, ale kapalinu musíme přivádět pod velkým tlakem.

Při speciálních případech obrábění hliníkových slitin dosahuje řezná rychlost až  $5000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , minimální doporučená rychlost je  $500 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . PKD je používán pro slitiny hliníku, které obsahují křemík. [2, 15]

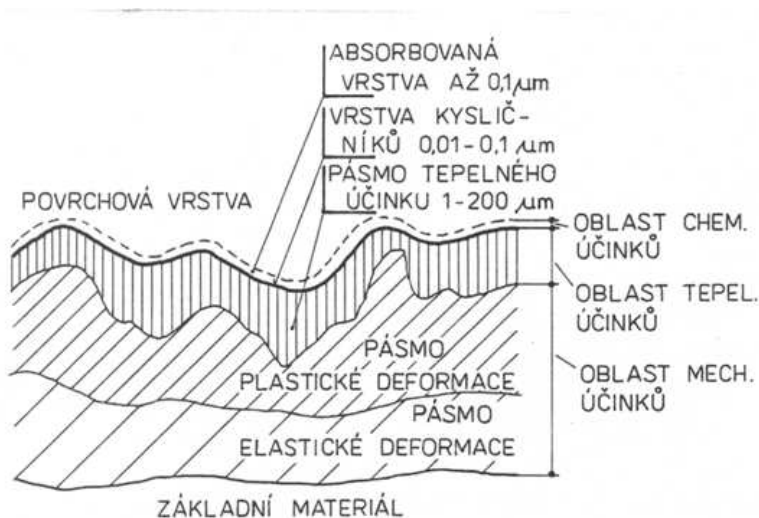
Tab. 4.3 Vlastnosti Diamantu [2]

Vlastnost	Diamant		Jednotky
	Přírodní	Umělý	
Měrná hmotnost	3,52	3,6 – 4,1	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Délka strany kubické mřížky		0,3567	nm
Pevnost v tlaku		4,7	GPa
Mikrotvrdost	12 000	7000 - 10000	HV
Modul pružnosti v tahu		925	GPa
Modul pružnosti ve smyku		430	GPa
Lomová houževnatost		8	$\text{MN}\cdot\text{m}^{-3/2}$
Poissonova konstanta		0,09	-
Koeficient délkové roztažnosti	2,5	4	při 200 °C
Měrná tepelná vodivost		120	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Teplotní stálost		700 - 800	°C

Syntetický diamant je vyráběn z velmi čistého grafitu, který je charakterizován hexagonální mřížkou. Za působení vysokého tlaku a teploty se hexagonální mřížka přeměňuje na kubickou. Při deformaci dochází ke vzniku velkých vnitřních pnutí a tím se dosahuje vysoké tvrdosti. [2]

## 5 JAKOST POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ

Při řezném procesu dochází ke změně vlastností obráběné povrchové vrstvy. Povrch vykazuje několik vlastností, mezi které patří jakost povrchu, strukturní změny, zpevňování, tepelné poškození atd. Nejvýznamnější parametr, který udává jakost povrchu a hodně nám napoví, je drsnost povrchu. Při obrábění není ovlivněna jen nejvyšší vrstva, ale dochází k ovlivnění i nižších vrstev. Důležitým aspektem jakosti povrchu je i zvolená technologie a její celková přesnost. Povrch následně posuzujeme podle použití, hodnocení a měření. [2]



Obr. 5.1 Schéma změny povrchové vrstvy [2]

### 5.1 Metoda měření

#### Dotyková metoda

Metoda je nejrozšířenější a nejpoužívanější. Je to způsobenou ekonomickým hlediskem, ale taky možnosti převodu analogového záznamu na digitální. Hlavní nevýhodou je vyvíjení tlaku snímače na zkoušený povrch. Tím může následně dojít k poničení povrchu i snímače a měření může být nepřesné.

#### Optická metoda

Optická metoda jinak známá jako bezdotyková metoda. Využívá se světelného paprsku, které se odráží od zkoušeného materiálu nebo se rozptyluje. Hlavním výhodou je, že je měření rychlé a nepoužívá se tady snímacího hrotu, čímž je eliminována nepřesnost a porušení materiálu.



## 5.2 Povrchové vlastnosti slitiny AlCu4Mg1

Slitina hliníku AlCu4Mg1 je v praxi známá pod názvem dural. Patří k základním a nejpoužívanějším druhům. Při obrábění za nízkých řezných rychlostí je segment třísky tvořený lamelami výraznější, avšak u vyšších rychlostí výraznost klesá. K vytváření segmentu dochází z důvodu lokalizace plastického tečení, které závisí na schopnosti deformačního zpevnění. Porovnáme změny vlastností povrchu při různých metodách obrábění ,jakými jsou soustružení, frézování a broušení. [14]

Tab. 5.1 Mikrotvrdot povrchové vrstvy [14]

Metoda obrábění	Řezné podmínky			Místo měření			Poznámka
	$v_c$ (m·min <sup>-1</sup> ) (m·sec <sup>-1</sup> )	$v_c$ (mm·ot <sup>-1</sup> ) (mm·min <sup>-1</sup> )	$a_h$ (mm)	1	2	3	
Soustružení	100	0,10	0,5	143	143	151	HV 10 průměrné hodnoty mikrotvrdoti ve třech místech
	100	0,31		140	140	148	
	250	0,10		140	143	168	
	250	0,31		153	153	171	
	400	0,10		143	143	165	
	400	0,31		143	143	162	
Frézování	350	224	0,5	143	143	143	HV 20 průměrné hodnoty mikrotvrdoti ve třech místech
	710	224		142	141	145	
	710	450		141	142	147	
	1400	450		142	144	145	
	1400	900		141	145	150	
Broušení	30	-	0,005	143	144	145	
	30	-	0,005	143	144	145	

### Vyhodnocení výsledků

Drsnost povrchu  $R_a$  se u obrábění soustružením slitiny hliníku takřka nemění a je konstantní v celém rozsahu měření. Mění se pouze u posuvu  $s = 0,31$  mm·ot<sup>-1</sup>. U frézování a broušení nedošlo k žádným razantním změnám. [14]

## ZÁVĚR

Při obrábění hliníku a jeho slitin jsou analyzovány podmínky obrábění. Analyzovali se příznivé i negativní vlivy při obrábění a následně bylo doporučeno nejvhodnější vyřešení problému.

Za největší problém při obrábění hliníku se považuje nalepování materiálu na nástroj. To má za následek vznik nárůstku a tím následné poškozené nástroje a nepřesnost obrábění. Tento problém je nejlépe řešen použitím slinutých karbidu, které jsou povlakovány a mají nízkou ahezi. Nástroj musí být volen i s pozitivním úhlem břítu a musí být opatřen utvářečem, aby bylo docíleno přijatelné utváření třísky. Dalším důležitým parametrem je použití procesní kapaliny, která je nezbytná při obrábění diamantovými nástroji. Ta musí být přiváděna pod stálým tlakem.

**SEZNAM PRAMENŮ**

1. SEDLÁČEK, V. *Neželezné kovy, Hutnické výrobky a jejich použití*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957. 220 s.
2. BUMBÁLEK, B. *Fyzikální podstata řezání* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005, 125 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/fyz\\_pods\\_rez/Opora05\\_Fyzikalni\\_podstata\\_rezani.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/fyz_pods_rez/Opora05_Fyzikalni_podstata_rezani.pdf)>.
3. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-2068-0.
4. MICHNA, Š. et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd. Prešov: Adin, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
5. KUČEROVÁ, I. et al. *Stručná charakteristika hliníku a jeho slitin* [online]. VŠCHT v Praze, Fakulta kovových materiálů a korozního inženýrství, 2008. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/struktur/hlinik/vlastntx.htm>>.
6. MICHNA, Š. *Technické materiály II* [online]. Univerzity J.E.Purkyně v Ústí n.L., Fakulta výrobních technologií a managementu, 105 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.stefanmichna.com/download/opory/technicke\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/opory/technicke_materialy.pdf)>.
7. *Technologie 2005* [online]. SUŠ. Turnov. Dostupné na World Wide Web: <<http://konstrukce.webz.cz/sups/3too1.html>>.
8. KŘÍŽ, A., et al. *Obrábění slitin AlSiMg0,5Mn nástroji s progresivnímo tenkými vrstvami* [online]. 5. Mezinárodní konference Aluminium 2007. Hotel Bezdez, Staré Splavy. 21 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek\\_Aluminium07.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek_Aluminium07.pdf)>.
9. BAMBULA, M. *Hodnocení obrobiteľnosti slitin hliníku - kritéria hodnocení*. Bakalářská práce v oboru „Strojírenská technologie - obrábění“. Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 2008. 27 s.
10. KOUŘIL, M., SPÁČILOVÁ, J. *Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroštěným povrchem*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolesteny-m-povrchem>>.
11. HAMERNÍK, J. *Základy obrábění 2004* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>>.

12. *Příručka obrábění 2004* [online]. Pramet Tools. Šumperk. Dostupné na World Wide Web:<[http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/priruc-ka\\_cz.pdf](http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/priruc-ka_cz.pdf)>.
13. *Současnost a trendy povlakování technologií*. MM průmyslové spektrum [online] 2005. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendypovlakovani-technologie-pvd>>.
14. BUMBÁLEK, B., MAZAL, P., LIŠKUTIN, P. *Vlastnosti povrchové vrstvy slitiny AlCu4Mg1 a jejich vliv na unavu*. Mezinárodní konference ALUMINIUM 2007. Fakulta Košice, 2007, 325 s. ISSN 1335-2334.
15. HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Popis
RO	Rychlořezná ocel
ASP	Anti-Segregation Process
SK	Slinuté karbidy
PVD	Physical Vapour Deposition
CVD	Chemical Vapour Deposition
DLC	Diamant Like Carbon
PKD	Polykrytalický Diamant

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1    Zařazení slitin hliníku pro tváření do skupin obrobitelnosti  
Příloha 2    Parametry pro vrtání slitin hliníku různými nástrojovými materiály

# Příloha 1

1/3

Tvářené slitiny hliníku a jejich hodnocení obrobitelnosti

Označení	Stav	Provedení	Tvrdość HB (500 kg)	Skupina obrobitelnosti
1060	O	Tyče, trubky	19	E
	H12		23	E
	H14		26	D
	H16		30	D
	H18		350	D
1100	O	Plechý, pásy, fólie, tyče, trubky	23	E
	H12		28	E
	H14		32	D
	H16		38	D
	H18		44	D
2011	T3	Tyče, trubky	95	A
	T8		100	A
2014	O	Plechý, trubky, tyče	45	D
	T4		105	B
	T6		135	B
2017	O	Trubky, tyče	45	C
	T4		105	B
2018	T61	Výkovky	120	B
2024	O	Fólie, plechy, trubky, tyče	47	D
	T3		120	B
	T4		120	B
	T61		130	B
2025	T6	Výkovky	110	B
2117	T4	Tyče	70	C
2218	T72	Výkovky	95	B
2219	O	Plechý, fólie, tyče, trubky	...	...
	T42		...	...
	T351		100	B
	T37		117	B
	T62		115	B
	T851		130	B
	T87		130	B
2618	T61	Výkovky	115	B
3002	O	Fólie, plechy, tyče, trubky	28	E
	H12		35	E
	H14		40	D
	H16		47	D
	H18		55	D
3004	O	Plechý, fólie, trubky, tyče	45	D
	H32		52	D
	H34		63	C
	H36		70	C
	H38		77	C
4032	T6	Výkovky	120	B

5005	O	Fólie, plechy, tyče, trubky	28	E
	H12		36	E
	H14		41	D
	H16		46	D
	H18		51	D
	H32		36	E
	H34		41	D
H36	46	D		
H38	51	D		
5050	O	Fólie, plechy, tyče, trubky	36	E
	H32		46	D
	H34		53	D
	H36		58	C
	H38		63	C
5052	O	Fólie, plechy, tyče, trubky	47	D
	H32		60	D
	H34		68	C
	H36		73	C
	H38		77	C
5056	O	Tyč nýtovaná	65	D
	H32		105	C
	H38		100	C
5083	O	Plech, fólie, trubky, tyče	67	D
	H321		82	D
5086	O	Plech, fólie, tyče, trubky	60	D
	H32		72	D
	H34		82	C
	H112		64	D
5154	O	Fólie, plechy, svařovaný drát	58	D
	H32		67	D
	H34		73	C
	H36		78	C
	H38		80	C
	H112		63	D
5252	H25	Fólie	68	C
	H38		75	C
5254	O	Fólie, plechy	58	D
	H32		67	D
	H34		73	C
	H36		78	C
	H38		80	C
	H112		63	D
5257	H25	Fólie	32	C
	H28		43	C
5357	O	Fólie, plechy	32	D
	H25		50	C
	H28		55	C
5454	O	Fólie, plechy	62	D
	H32		73	D
	H34		81	C
	H111		70	D
	H112		62	D
5456	O	Fólie, plechy, tyče, trubky, výkovky	70	D
	H111		75	D
	H112		70	D
	H116		90	D



5457	O H25 H28	Fólie	32 48 55	E C C
5557	O H25 H28	Fólie	27 46 55	E D D
5652	O H32 H34 H36 H38	Fólie, plechy	47 60 68 73 77	D D C C C
5657	H25 H28	Fólie	40 50	D D
6005	T5	Tyče, trubky	95	C
6061	O T4 T6	Fólie, plechy, trubky, tyče, výkovky	30 65 95	D C C
6063	O T1 T4 T5 T6 T83 T831 T832	Tyče, trubky	25 42 60 60 73 82 70 95	D D D C C C C C
6066	O T4 T6	Tyče, trubky, výkovky	43 90 120	D C B
6070	T6	Tyče, trubky	120	C
6151	T6	Výkovky	100	...
6262	T9	Tyče, trubky	120	B
6463	T1 T5 T6	Tyče, trubky	42 60 74	D C C
6951	O T6	Fólie	28 82	... ...
7001	O T6	Tyče, trubky	60 160	B B
7005	T53	Tyče, trubky	...	...
7075	O T6	Tyče, trubky, výkovky	60 150	D B
7079	O T6	Tyče, trubky, výkovky	... 145	... B
7118	O T6 T76	Tyče, trubky	60 160 ...	... B ...
8280	O H12	Fólie, plechy	... ...	B A

Jmenovité otáčky a posuv pro vyvrtávání sítin hliníku rychlořeznými a karbidovými nástroji

Materiál tvářený	Tvrдость HB (500 kg)	Stav	Hloub ka řezu (mm)	Rychlořezné nástroje			Nepovlakované nástroje		
				Rychlost (m·min <sup>-1</sup> )	Přísuv (mm·ot <sup>-1</sup> )	Nástroj materiálu	Rychlost spájení (m·min <sup>-1</sup> )	Přísuv (mm·ot <sup>-1</sup> )	Nástroj materiálu
3005 6066	30 - 80	Tažený za studena	0,25	305	0,075	S4, S5	610	0,15	K01, M10
1060 4032 6070			1,25	245	0,13	S4, S5	550	0,20	K01, M10
1100 5005 6101			2,5	215	0,30	S4, S5	365	0,40	K01, M10
1145 5050 6151	75 - 150		0,25	305	0,075	S4, S5	610	0,15	K01, M10
1175 5052 6253			1,25	245	0,13	S4, S5	550	0,20	K01, M10
2011 5083 6463			2,5	215	0,30	S4, S5	365	0,40	K01, M10

## Příloha 2

Imenovitě otáčky a posuv pro vyvrtávání slitin hliníku diamantovými nástroji

2/2

Materiál tvářený	Tvrдость HB (500 kg)	Stav	Hloubka řezu (mm)	Rychlořezné nástroje	
				Rychlost (m·min <sup>-1</sup> )	Přísuv (mm·ot <sup>-1</sup> )
2218 5252 6253	30 - 80	všechny	0,13 - 0,40	460	0,075 - 0,15
1100 2618 5454 6463			0,40 - 1,25	305	0,15 - 0,30
1175 3004 5457 7007			1,25 - 3,2	150	0,30 - 0,50