

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## HODNOCENÍ OBROBITELNOSTI SLITIN HLINÍKU - KRITERIA HODNOCENÍ

MACHINABILITY EVALUATION OF ALUMINIUM ALLOYS - CRITERIA FOR EVALUATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAEL BAMBULA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. BOHUMIL BUMBÁLEK, CSc.

Zadání

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obrobiteľnosťou slitin hliníku. Jsou zde popsány problémy, které vznikají při obrábění hliníkových slitin, vliv chemického složení na obrobiteľnosť. Následující část vyhodnocuje obrobiteľnosť hliníkových slitin a kritéria pro její hodnocení. V poslední části jsou uvedeny řezné podmínky a řezný nástroj pro hliníkové slitiny.

### Klíčová slova

Slitiny hliníku, obrobiteľnosť, adheze, třísky

## ABSTRACT

This bachelor project is directed on aluminum alloys machinability. There are described problemes which originate during aluminum alloys cutting, further influence of chemical composition on machinability. The following part daels with evaluation of aluminum alloys machinability and criteria for its appreciation. In the last part there are introduced the cutting conditions, and cutting tools for aluminum alloys.

### Key words

Aluminum alloys, machinability, adhesion, turnings

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BAMBULA, Michael. *Název: Hodnocení obrobiteľnosti slitin hliníku – kritéria hodnocení.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 27 stran., 2 přílohy. Vedoucí práce: prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hodnocení obrábitelnosti slitin hliníku – kriteria hodnocení“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 22.5.2008

.....  
Michael Bambula

## **Poděkování**

Děkuji tímto prof. Ing. Bohumilu Bumbálkovi, CSc. za poskytnutí cenných rad, připomínek a literatury při vypracování bakalářské práce a také za to, že mi věnoval svůj čas.

**OBSAH**

Abstrakt .....	3
Prohlášení .....	4
Poděkování .....	5
Obsah .....	6
Úvod .....	7
1 HLINÍK .....	8
1.1 Slitiny hliníku .....	8
1.1.1 Slitiny hliníku pro tváření .....	9
1.1.2 Slitiny hliníku pro odlitky .....	9
1.1.3 Automatové slitiny hliníku .....	9
1.1.4 Další rozdělení slitin hliníku .....	9
2 OBROBITELNOST .....	10
2.1 Obrobitelnost hliníku, obrobitelnost slitin hliníku .....	10
2.1.1 Vliv chemického složení hliníkových slitin na jejich obrobitelnost .....	11
3 HODNOCENÍ OBROBITELNOSTI .....	13
3.1 Rozdělení materiálů do tříd obrobitelnosti .....	14
3.2 Hodnocení obrobitelnosti materiálu podle tvaru třísky .....	15
3.3 Hodnocení obrobitelnosti slitin hliníku podle vznikajícího tepla .....	18
4 PODMÍNKY PRO OBRÁBĚNÍ SLITIN HLINÍKU .....	19
4.1 Řezný nástroj .....	19
4.1.1 Geometrie nástroje .....	19
4.1.2 Materiál řezného nástroje .....	20
4.1.3 Opatření proti nalepování hliníku .....	20
4.2 Řezné podmínky .....	22
Závěr .....	23
Seznam použitých zdrojů .....	24
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	26
Seznam příloh .....	27

## ÚVOD

Používání hliníku a slitin hliníku se každým rokem zvyšuje. Prakticky neexistuje oblast průmyslu a každodenního života, kde bychom se s výrobky z hliníku a slitin hliníku nesetkali. Největší nárůst v používání je v dopravě. Důvodem je především poměr mezi hmotností a mechanickými vlastnostmi. Dalšími důvody, které vedou k rozšiřování hliníkových slitin, jsou dobré technologické vlastnosti a snadná technologie výroby. Stále častěji se objevuje snaha nahazovat jiné materiály slitinami hliníku. Velký nárůst je především v automobilovém průmyslu.

V roce 1980 bylo použito v každém automobilu v průměru 30 kg hliníkových slitin, v roce 1990 to bylo již cca 50 kg a v roce 2009 se předpokládá použití až 150 kg hliníkových slitin v každém automobilu. (8)

S tím také roste potřeba tyto slitiny opracovávat – obrábět. Slitiny hliníku se řadí mezi materiály, které jsou dobře obrobitelné. Při obrábění nejsou problémy s jejich mechanickými vlastnostmi. Zvláštní problém, který se objevuje z hlediska obrábění, je nalepování hliníku na nástroj. Problém také vzniká s utvářením třísek. Při hodnocení obrobitelnosti to vyžaduje v porovnání s ocelí nebo litinou zcela odlišný přístup.

## 1 HLINÍK

V technické praxi řadíme hliník a slitiny hliníku do široké skupiny neželezných kovů. Ve strojírenství se čisté prvky používají pouze ojediněle, téměř vždy se jedná o slitiny dvou a více kovů. Je to proto, že čistý hliník má především špatné mechanické a technologické vlastnosti. Pevnost v tahu nedosahuje 100 MPa, tvrdost čistého hliníku je 20–30 HB. Velmi dobré jsou plastické vlastnosti s tažností přesahující 20%. (14)

Tab.1.1 Některé fyzikální vlastnosti hliníku. (12)

Vlastnosti	Hodnoty
Mřížka	K2
Parametr mřížky	$a = 0,404958 \text{ nm}$
Hustota	$2,6989 \text{ g.cm}^{-3}$ (pi 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Teplota varu	2494 °C
Tepelná vodivost	$247 \text{ W.m}^{-1}$ (pi 25 °C)
Elektrická vodivost	62 % IACS (Al 99,8) 65 – 66 % IACS (Al 99,999+)
Latentní teplo tavení	$397 \text{ kJ.kg}^{-1}$
Latentní teplo varu	$10,78 \text{ MJ.kg}^{-1}$
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Elektrický odpor	$26,2 \text{ n}\Omega.\text{m}$ (Al 99,999+ pi 20 °C) $26,55 \text{ n}\Omega.\text{m}$ (Al 99,8 pi 20 °C)

### 1.1 Slitiny hliníku

Čistý hliník se pro konstrukční účely nepoužívá. Přidáním vhodných prvků ovšem vznikají hliníkové slitiny, které mají velmi výhodné mechanické i technologické vlastnosti. Vhodnou kombinací a množstvím přísadových prvků vznikají slitiny s požadovanými vlastnostmi.

Slitiny hliníku se mohou rozdělit do několika skupin podle různých kritérií. Z hlediska obrobitelnosti se hliníkové slitiny rozdělují na slitiny pro tváření, slitiny pro odlitky a slitiny, které jsou přímo určené k obrábění tzv. automatové slitiny. (12)



### 1.1.1 Slitiny hliníku pro tváření

Hliníkové slitiny pro tváření se dále ještě dělí na dvě větší skupiny. Slitiny s nízkou pevností, které jsou odolné proti korozi. Do této skupiny patří slitiny neobsahující měď, zejména slitiny Al-Mg a Al-Mn.

Slitiny s vyšší pevností, které mají ovšem menší odolnost proti korozi. Zde jsou především slitiny s obsahem mědi. Nejpoužívanější slitiny jsou Al-Cu-Mg, zejména duraly.

Většina slitin hliníku pro tváření má výborné vlastnosti pro obrábění.

(13)

### 1.1.2 Slitiny hliníku pro odlitky

Slévárenské slitiny pro odlitky obsahují jako hlavní legující prvek nejvíce měď, křemík, hořčík nebo zinek. Pro nastavení optimálních řezných podmínek se rozdělují slévárenské slitiny na dvě hlavní podskupiny dle hlavního legujícího prvku. Slitiny s hlavními legujícími prvky mědí, hořčíkem nebo zinkem jsou velmi dobře obrobitelné a dají se srovnat se slitinami pro tváření. Slitiny, které mají jako hlavní legující prvek křemík, vyžadují odlišné nastavení řezných podmínek. (12)

### 1.1.3 Automatové slitiny hliníku

Slitiny hliníku určené k obrábění jsou legovány prvky, které mají zajistit podmínky pro tvorbu drobné lámavé třísky. Jedná se především o olovo, bismut, antimon a kadmium. Tyto prvky mají nízkou teplotu tání, nerozpouštějí se v základní hliníkové matici a tvoří měkké částice. Jako automatové slitiny jsou nejvíce používány slitiny Al-Cu a Al-Mg-Si. Z důvodu vlivu na životní prostředí se olovo ve slitinách nahrazuje jinými prvky, které zajistí potřebné vlastnosti. Většinou se olovo v automatových slitinách nahrazuje cínem. (12)

### 1.1.4 Další rozdělení slitin hliníku

Slitiny hliníku je možné rozdělit do dalších skupin dle různých kritérií.

<u>Podle hlavních přísadových prvků:</u>	slitiny Al-Si	siluminy
	slitiny Al-Cu	duralaluminium
	slitiny Al-Mg	hydronalium

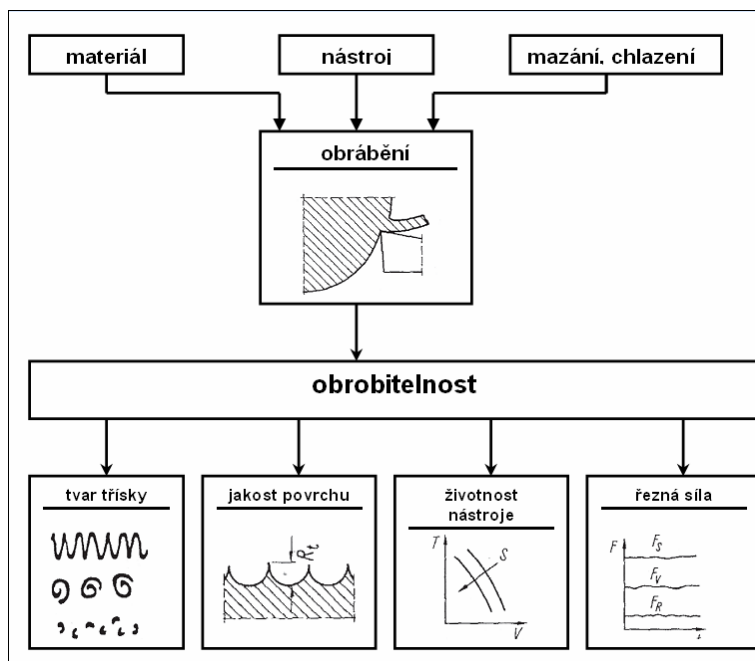
<u>Podle schopnosti slitin tepelného zpracování:</u>	- vytvrditelné
	- nevytvrditelné

(14)

Z hlediska obrobitelnosti se rozdělují slitiny hliníku do tří skupin. Jsou to slitiny slévárenské, tvářené a slitiny určené pro obrábění tzv. automatové.

## 2 OBROBITELNOST

Obrobitelnost je technologická vlastnost daného materiálu, která charakterizuje jeho vhodnost k obrábění. (7) Je to vlastnost, kterou nelze přesně pojmenovat a vymezit. Vždy se jedná o interakci materiálu obrobku a nástroje.



Obr. 2.1 Parametry charakterizující obrobitelnost (12)

Pojem obrobitelnost nelze odloučit od pojmu řezivost nástroje, protože konečný výsledek obrábění závisí kromě charakteristiky materiálu obrobku také na fyzikálních vlastnostech břitu nástroje. (7) Vždy se jedná o vzájemné působení materiálů nástroje a obrobku. Rychlost obrábění a kvalita obrobenej plochy závisí na obou uvedených vlastnostech, obrobitelnosti materiálu a řezivosti nástroje.

### 2.1 Obrobitelnost hliníku, obrobitelnost slitin hliníku

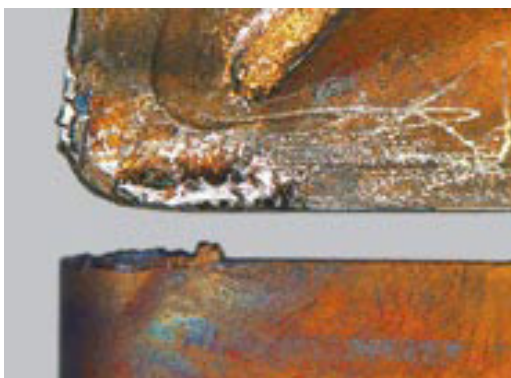
Všeobecně se řadí slitiny hliníku do skupiny materiálů, které jsou dobře obrobitelné. (12)

Hliník a jeho slitiny však při obrábění, zejména za sucha, patří mezi problémové materiály i přes svoje poměrně nízké mechanické vlastnosti. (3)

Hliník je prvek, který má vysokou tepelnou vodivost. Proto velká část tepla, které vzniká při řezném procesu, je z místa řezu odváděna do obrobku. Hliník

má velkou tepelnou roztažnost a tímto tepelným namáháním dochází k deformaci obrobku. (8)

Další problém vzniká při utváření třísky. Hliník má poměrně nízkou teplotu tavení (660°C). Při odvádění třísky dochází k jejímu nalepování na břit nebo čelo nástroje. K nalepování hliníku dochází především u standardních řezných nástrojů ze slinutých karbidů. (8)



Obr. 2.2 Nárůstek na nástroji (6)

Obrobitelnost čistého hliníku je oproti hliníkovým slitinám velmi špatná a to především kvůli jeho struktuře. Vliv precipitátů, konstitučních fází a měkkých částic působí na obrobitelnost slitin hliníku velmi příznivě. Obrobitelnost slitin hliníku zhoršují především tvrdé fáze, které vznikají vlivem přísadových prvků nebo nečistot. Tyto tvrdé fáze se nazývají intermetalické sloučeniny. (12,14)

### 2.1.1 Vliv chemického složení hliníkových slitin na jejich obrobitelnost

Slévárenské slitiny s hlavním legujícím prvkem mědí, hořčíkem nebo zinkem jsou považovány za slitiny, u kterých nedochází k problémům s obrobitelností. Nalepování materiálu na nástroj není tak časté, tudíž na opotřebení nástroje nemá zásadní vliv. Na opotřebení nástroje má také vliv struktura materiálu. Pro obrábění je vhodnější jemnozrná homogenní struktura. Struktura s hrubými nepravidelnými zrny, oxidické vrstvy, nekovové vměstky a nečistoty jsou příčinami většího opotřebení řezného nástroje. (12)

Křemík je často klíčovým prvkem ve slitinách hliníku. Kromě toho, že velmi pozitivně působí na řadu slévárenských a dalších vlastností, zásadně ovlivňuje jejich obrobitelnost. Z pohledu opotřebení nástroje se slitiny s obsahem křemíku rozdělují na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Především nadeutektické slitiny, které obsahují hrubé částice Si, způsobují rychlé opotřebení řezného nástroje. Opotřebení nástroje zpravidla závisí na velikosti obsahu křemíku. Existuje zde určitá výjimka. Slitiny s obsahem Si kolem 12% se vyznačují měkkou maticí, do které se tvrdé částice křemíku zatlačí a nedochází tak k opotřebení nástroje. (12)

U nevytvrzovatelných slitin vzniká problém s tvorbou třísky. Tříška se tvoří jako dlouhá a spojitá, je proto nutné ji odstraňovat. Zlepšení obrobitelnosti je možné tvářením za studena. Vytvrzovatelné slitiny jsou naproti tomu obrobitelné velmi dobře, výborná je především jakost povrchu. Ve vytvrzeném stavu se slitiny obrábějí lépe, tříška se tvoří jako dlouhá, stočená a často se snadno láme. V nevytvrzeném stavu je obrobitelnost těchto slitin srovnatelná se slitinami nevytvrzovatelnými, které se obrábějí hůře. (12)

Dalším prvkem, který významně ovlivňuje obrobitelnost hliníku, je železo. To je ve většině slitin považováno za nežádoucí prvek, nečistotu. Železo vytváří ve slitinách hliníku tvrdé intermetalické fáze, které vedou k většímu opotřebení rezného nástroje a zhoršuje se tím obrobitelnost daného materiálu. Podstatný vliv na obrobitelnost má železo při obsahu 1,2% a vyšším. (14)

Prvkem, který zlepšuje obrobitelnost slitin hliníku, je měď. Při obrábění vzniká krátká tříška, snadno lámavá. Důležitý je také velmi kvalitní povrch, který po obrobení vzniká. (14)

Automatové slitiny hliníku jsou slitiny, které jsou přímo určeny pro obrábění na obráběcích automatech. Tomu je přizpůsobeno složení těchto slitin. Obsahují legující prvky, které dávají slitinám vlastnosti vedoucí k lepší obrobitelnosti. Ve světě se nejvíce vyrábí tři základní typy těchto slitin: AlMgSiPb, AlCu4PbMg, AlCu6BiPb. Problémem těchto tří slitin je přítomnost olova. Olovo je prvek, který nejvíce ovlivňuje obrobitelnost slitin, a za tímto účelem je také do slitin přidáván. Olovo je v hliníku nerozpustné a tvoří ve struktuře nízkotavitelné fáze. Tyto fáze se v místě řezu natavují, snižují tření mezi nástrojem a odcházející třískou a zabraňují tvorbě nárůstků na čele nástroje. Řezný nástroj se méně opotřebovává a obrobený povrch je kvalitnější. Olovo také zlepšuje lámavost třísky. Obsah olova v těchto slitinách je 0,5–2,5% hm. Protože je olovo škodlivé vůči lidskému organismu a životnímu prostředí, byly vydány předpisy, které obsah olova ve slitinách hliníku výrazně omezují pouze na několik desetin procenta. Těmito předpisy byli výrobci slitin hliníku donuceni hledat jiné alternativy za olovo. Nejčastější náhradou za olovo je cín, který dodává slitinám hliníku potřebné vlastnosti pro obrábění podobně jako olovo. (12)

### 3 HODNOCENÍ OBROBITELNOSTI

Protože je obrobiteľnosť ovplyvňovaná mnohá faktory, řadí se mezi vlastnosti relativní. Při určování obrobiteľnosti se musí porovnat hodnocený materiál s jiným materiálem, který byl obráběn za stejných podmínek. Pro porovnání materiálů mohou být použita tato kritéria: drsnost obrobené plochy, teplota řezání, tvar třísky, velikost odporů při řezání, velikost opotřebení řezného nástroje. Při hodnocení obrobiteľnosti materiálů se bere v potaz mnoho faktorů, které s obrobiteľností souvisí, a přesto není možné obrobiteľnost konkrétního materiálu nějakou veličinou ocenit, dát ji nějakou hodnotu. Vždy se bude jednat o porovnání s jiným materiálem.

Zde jsou některé faktory, které souvisí s obrobiteľností:

- 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

(4)

Měření obrobiteľnosti na základě porovnávání hodnot je možné, ale není zcela přesné. Přesnější by bylo sestavení všech vlastností obrobku, které obrobiteľnost ovplyvňují, do porovnávací tabulky a zpracovatel by si provedl vlastní vyhodnocení obrobiteľnosti. Obrobiteľnost ovplyvňují metalurgie, chemie, mechanika, ale také tepelné zpracování, legující přísady, vměstky a charakter povrchu materiálu obrobku. Dalšími faktory ovplyvňující obrobiteľnost jsou kvalita bříty a držáku nástroje, obráběcí stroj a správně nastavené podmínky pro obrábění. (1)

### 3.1 Rozdělení materiálů do tříd obrobitelnosti

Strojírenské materiály jsou pro určení obrobitelnosti rozděleny do devíti skupin, které jsou označeny malými písmeny abecedy. Hliník a slitiny hliníku jsou zařazeny do skupiny d.

- a - litiny
- b - oceli
- c - těžké neželezné kovy a slitiny (měď a slitiny mědi)
- d - lehké neželezné kovy a slitiny (hliník a slitiny hliníku)
- e - plastické hmoty
- f - přírodní nerostné hmoty
- g - vrstvené hmoty
- h - pryže
- v - tvrzené litiny pro výrobu válců

(4)

V každé z devíti skupin je vybrán vždy jeden materiál, který slouží jako etalon. S etalonem jsou porovnávány všechny ostatní materiály dané skupiny, tím se určuje jejich relativní obrobitelnost.

Kriteriem hodnocení je  $v_{cT}$  – hospodárná řezná rychlost.

(4)

Tab. 3.1 Materiály a třídy obrobitelnosti (10)

Druh Materiálu	Kategorie materiálu	Třída obrobitelnosti etalonového materiálu ( $K_v = 1$ )	Etalonový materiál
Litiny	a	10a	42 2420
Oceli	b	14b	12 051.1
Těžké neželezné kovy a slitiny	c	11c	42 3213.21
Lehké neželezné kovy a slitiny	d	10d	42 4380.11

#### Součinitel obrobitelnosti

Hodnota součinitele obrobitelnosti  $K_v$  se získá takto: (7)

$$K_v = \frac{v_{cT/VB} \text{ zkouš.mat.}}{v_{cT/VB} \text{ etal.mat.}} \quad (3.1)$$

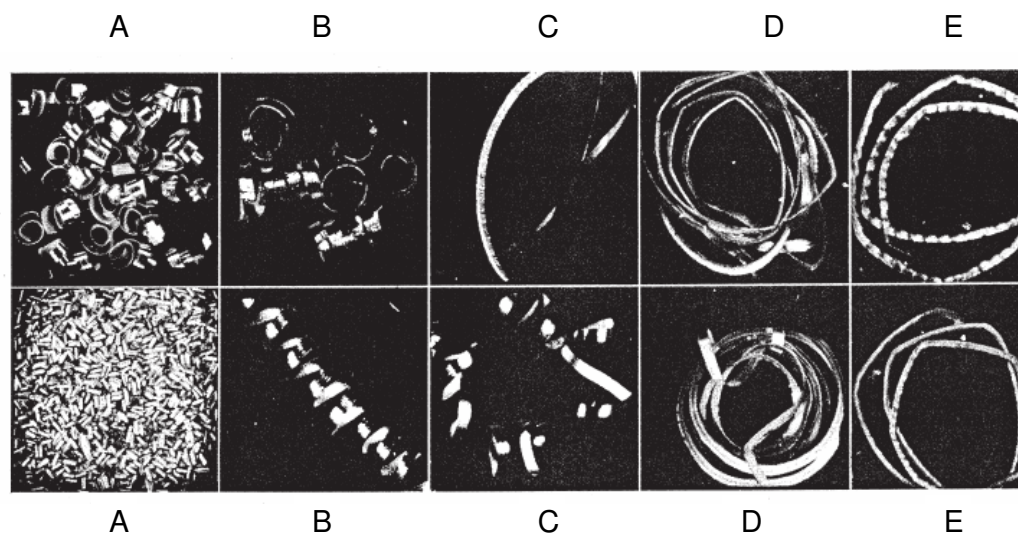
Při posuzování obrobitelnosti hodnotou  $v_{cT}$  (řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T, např. T=15 min.) se vlastně jedná o porovnání objemu materiálu odebraného za předem danou jednotku času a předem stanovených řezných podmínek. (4)

Tab. 3.2 Přehled tříd obrobitelnosti a součinitelů obrobitelných hliníkových slitin (15)

Koeficient $K_v$	Skupina obrobitelnosti						
	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d
<b>střední</b>	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00
<b>minimální</b>	0,23	0,29	0,36	0,45	0,57	0,72	0,90
<b>maximální</b>	0,28	0,35	0,44	0,56	0,71	0,89	1,12
	11d	12d	13d	14d	15d	16d	17d
<b>střední</b>	1,26	1,59	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00
<b>minimální</b>	1,13	1,42	1,79	2,25	2,83	3,56	4,48
<b>maximální</b>	1,41	1,78	2,24	2,82	3,55	4,47	5,63

### 3.2 Hodnocení obrobitelnosti materiálu podle tvaru třísky

Tvar třísky je jedním ze základních parametrů pro hodnocení obrobitelnosti hliníkových slitin. Důvodem ke sledování parametrů třísek je skutečnost, že při obrábění jsou vyžadovány pouze určité druhy třísek, které jsou z hlediska plynulosti procesu nejvhodnější. Třísky se rozdělují podle tvaru do několika skupin. Rozdělení se provede na základě vizuálního zhodnocení. Třísky se rozdělují na základě svého tvaru do pěti skupin, které se označují velkými písmeny A až E. (9, 12)



Obr. 3.1 Typické třísky rozdělené do skupin podle tvaru (12)

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

Tab. 3.3 Řezné podmínky pro získání tvarů třísek na obr. 3.1 (11, 15)

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

Tab. 3.4 Srovnání vybraných tvářených a slévarenských slitin hliníku z hlediska tvaru třísky (12)

Slitina	Stav	Tvrdość HB	Hodnocení	Slitina	Stav	Tvrdość HB	Hodnocení
1060 Al99.60	O	19	E	6061 AlMgSiCu	O	30	D
	H12	23	E		T4	65	C
	H18	35	D		T6	95	C
2011 AlCuBiPb	T3	95	A	6063 AlMg0,7Si	O	25	D
	T8	10	A		T1	42	D
2014 AlCuSiMn	O	45	D		T6	73	C
	T4	105	B	T83	82	C	
	T6	135	B	6262 AlMg1SiPb	T9	120	B
2024 AlCu4Mg1	O T3 T61	47	D	7001 AlZn7Mg3Cu2	O	60	B
		120	B	T6	160	B	
		130	B	7075 AlZnMgCu1,5	O	60	D
				T6	150	B	
2219 AlCu6Mn	O T351 T851	-	-	7178 AlZn7MgCu	O	60	-
		100	B	T6	160	B	
		130	B	T76	-	-	
				208 AlSi10(Cu)	F	55	B



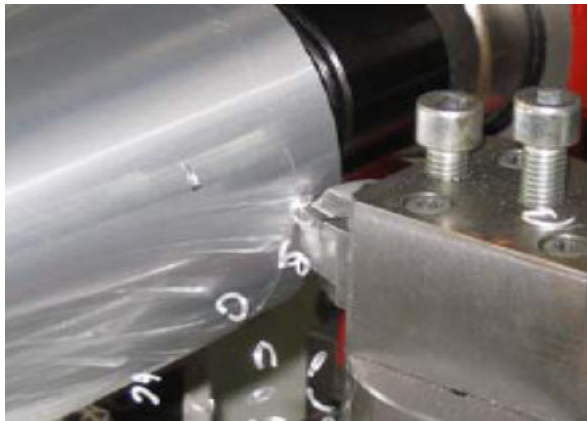
Slitina	Stav	Tvrдость HB	Hodnocení	Slitina	Stav	Tvrдость HB	Hodnocení
3003 AlMnCu	O H18	28 55	E D	242 AlMg3	T21 T77	70 70	B B
4032 AlSi12NiMg	T6	120	B	A332	T551 T65	105 125	C C
5005 AlMg1	O	28	E	A356 AlSi7Mg	T51	60	C
	H12	36	E		T6	90	C
	H18	51	D		T7	70	C
5052 AlMg2,5	H38	51	D	A357 AlSi7Mg0,6	T6	85	-
	O	47	D	A360 AlSi9,5Mg0,5	F	75	C
5154 AlMg3,5	H38	77	C	413 AlSi12	F	80	E
	O	58	D				
	H38	80	C				

### Vliv opotřebení břitu nástroje na tvar třísky

Změna tvaru třísky v průběhu řezného procesu signalizuje opotřebení řezného nástroje. Při opotřebení břitu nástroje se začne intenzivně tvořit nárůstek. Následkem toho se změní koeficient tření. Zvýšením tření dochází ke zvýšení teploty při řezném procesu a v důsledku toho k většímu tepelnému ovlivnění břitu nástroje. Tyto změny se projeví v kvalitě obrobenej plochy a také ve tvaru vznikající třísky. Při neopotřebovaném nástroji vzniká krátká tříska. Po opotřebení břitu nástroje vzniká dlouhá plynulá tříska. (9)



Obr. 3.2 Tvorba plynulé dlouhé třísky (9)



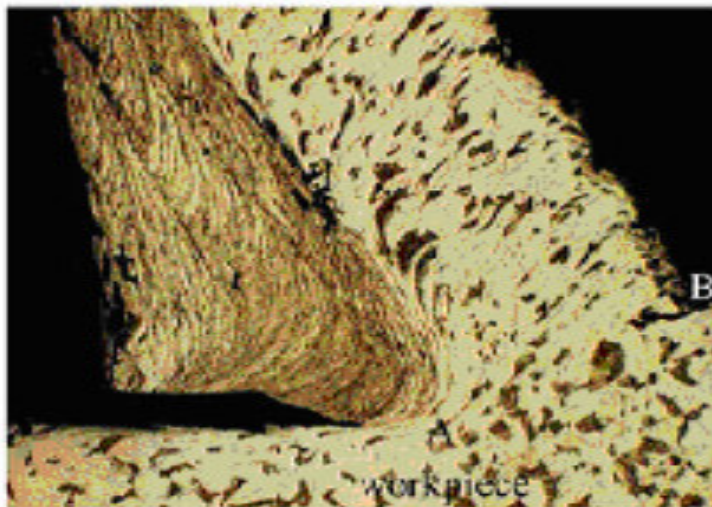
Obr. 3.3 Tvorba krátké článkovité třísky (9)

### **3.3 Hodnocení obrábělnosti slitin hliníku podle vznikajícího tepla**

Teplo vznikající při řezání má výrazný vliv na opotřebení nástroje a tím i na množství odebraného materiálu. Proto by bylo správnější hodnotit obráběné materiály v pojmech vygenerovaného tepla při řezání. Z tohoto hlediska patří slitiny hliníku mezi materiály dobře obrábělné, protože jejich teplota tavení je nízká. (2)

## 4 PODMÍNKY PRO OBRÁBĚNÍ SLITIN HLINÍKU

Obrábění slitin hliníku vyžaduje zcela odlišný přístup v porovnání s obráběním ocelí nebo litin. Zejména se jedná o nastavení optimálních pracovních podmínek, které jsou u hliníkových slitin zcela odlišné. Optimální pracovní podmínky jsou rozhodující pro získání obrobené plochy požadované jakosti a zajištění hospodárnosti výrobního procesu.



Obr. 4.1 Vznik adheze (9)

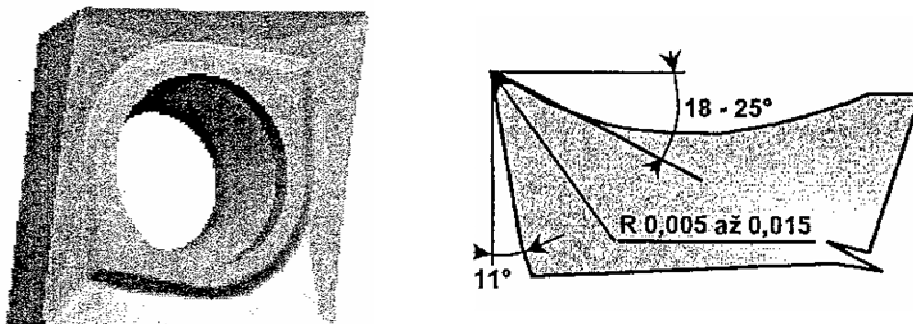
### 4.1 Řezný nástroj

Pro obrábění slitin hliníku nelze použít standardní řezné nástroje a to především z důvodu nalepování hliníku na řezné nástroje. Důsledkem toho je rychlé opotřebení řezného nástroje a nekvalitní obrobená plocha. Řezný nástroj pro obrábění slitin hliníku musí být odolný vůči nalepování nataveného hliníku. Z tohoto důvodu je nezbytné používání optimálních řezných materiálů, tvarů a typů obráběcích nástrojů, správné geometrie břitů a správných tenkých vrstev. Existuje celá řada moderních univerzálních nástrojů, se kterými lze některé slitiny hliníku hospodárně obrábět. Obecně ale platí, že pro obrábění slitin hliníku je potřeba nástroj, který je speciálně určený pro obrábění těchto slitin. (1,8)

#### 4.1.1 Geometrie nástroje

Obecně platí, že pro obrábění slitin hliníku je potřeba nástroj s ostrým pozitivním břitem. Při obrábění slitin hliníku vzniká problém s odvodem třísky, proto musí geometrie břitu splňovat požadavky na odvod třísky. Často se tvoří dlouhá spojitá tříška, proto je nutné, aby měl řezný nástroj utvářeč třísky. Pro obrábění slitin hliníku jsou určeny nástroje s vysoce pozitivním břitem, které

mají kvalitní utvářeče třísky. Pro obrábění není třeba velkých řezných sil, proto jsou vhodné vyměnitelné břitové destičky s pozitivní geometrií břitu, s malým úhlem a poloměrem špičky. (8, 5)



Obr. 4.2 Geometrie nástroje pro obrábění AL-slityny (5)

#### 4.1.2 Materiál řezného nástroje

Dnes nejpoužívanější řezné nástroje jsou vyměnitelné břitové destičky. Nejuniverzálnější použití mají vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. Při obrábění těmito destičkami vzniká problém s nalepováním hliníku na břit a případně i na čelo destičky. Nalepování hliníku stoupá s větší zrnitostí karbidu wolframu a s vyšším obsahem kobaltu. Na nalepování hliníku má také vliv drsnost řezné hrany nástroje a povrch řezného materiálu. Materiál destiček musí zachovávat dobrou houževnatost při dostatečné otěruvzdornosti a vysoké stabilitě řezného procesu. Tyto požadavky splňují vyměnitelné břitové destičky typu WC-Co. Speciálně pro obrábění slitin hliníku jsou určeny jemnozrné nepovlakované druhy slinutých karbidů. Problém vzniká při obrábění slitin s vyšším obsahem křemíku. Velké tvrdé částice křemíku vyvolávají nadměrné a rychlé opotřebení nástroje. Pro tento druh slitin jsou určeny nástroje, které jsou opatřeny diamantovým povlakem nebo přímo osazené diamantem. Další možností je použití vyměnitelných břitových destiček z polykrystalického diamantu. Destičky z PD se uplatňují především při obrábění velmi vysokými řeznými rychlostmi a tam kde je požadavek na vysokou jakost obrobenej plochy a vysokou přesnost rozměrů. (1, 8)

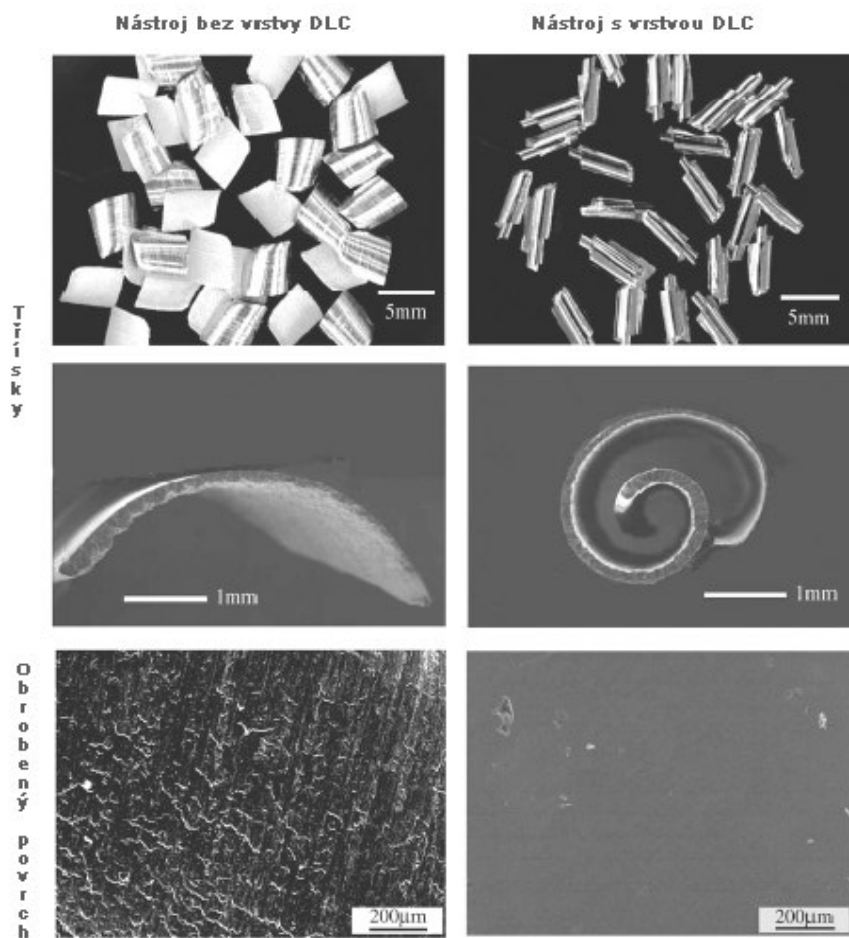
#### 4.1.3 Opatření proti nalepování hliníku

Tendence k nalepování hliníku roste s vyšší drsností povrchu řezného nástroje. Jsou proto vyvíjeny nástroje s minimální drsností řezné hrany a povrchu řezného nástroje. Nástroje jsou upravovány diamantovým mikroleštěním, čímž je dosaženo nižší drsnosti nástroje. Při obrábění se snižuje adheze. Další možností je aplikace ochranných vrstev s nízkým koeficientem tření  $\mu = 0,1-0,2$  (např.  $TiB_2$ ,  $MoS_2$ , DLC vrstvy). Povrchové úpravy řezných nástrojů mají také vliv na kvalitu obrobenej plochy. Kromě toho, že zamezují

tvorbě nárůstků na nástroji, zlepšují jakost obrobené plochy a zvyšuje se rozměrová přesnost obrobku. Leštěný povrch vykazuje v porovnání s neleštěným nižší drsnost, a tím i nižší koeficient tření. Při obrábění dochází ke zlepšení odvodu třísky. (5, 8)

#### Řešení pro břitové destičky ze slinutých karbidů:

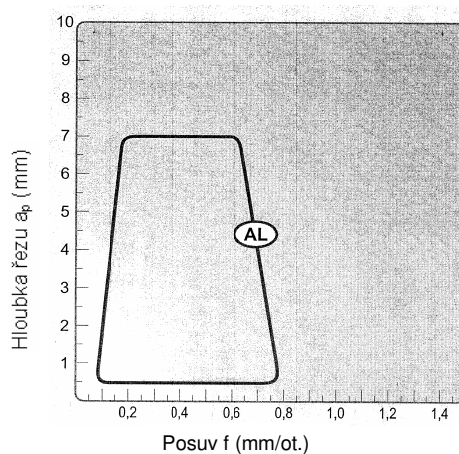
- používat velmi jemný submikronový substrát ( $WC < 1\mu m$ )
- nízký obsah kobaltu ( $Co < 10\%$  a méně)
- ostření na diamantových kotoučích se zrnitostí 30–40  $\mu m$
- destičky s mikroleštěným povrchem



Obr. 4.3 Typy třísek a jakost povrchu při frézování za sucha bez DLC a s DLC (9)

## 4.2 Řezné podmínky

Nastavení optimálních řezných podmínek a zvolení správného nástroje je základním předpokladem k hospodárnosti obráběcího procesu. Zvláště u slitin hliníku je nastavení správných řezných podmínek velice důležité. Nástroje určené pro obrábění těchto slitin vyžadují většinou vysoké řezné rychlosti, ty se pohybují až 2500 m/min a často jsou omezeny kapacitou stroje. Důležitým faktorem je také tloušťka třísky a to především při frézování. Nastaví-li se při použití vysokých řezných rychlostí malý posuv, dochází spíše k silnému tření, než aby nástroj řezal. Následkem toho dochází k přehřívání nástroje, což vede ke zhoršení jeho trvanlivosti.



Obr. 4.4 Funkční diagram (5)

Řezné podmínky pro vybrané vyměnitelné břitové destičky: (5)

destička **VCGT 160408F-AL**

$v_c = 200 - 2500$  m/min

$a_p = 0,60 - 7,0$  mm

$f = 0,16 - 0,70$  mm/ot.

destička **TCGT 110204F-AL**

$v_c = 200 - 2500$  m/min

$a_p = 0,50 - 5,0$  mm

$f = 0,10 - 0,40$  mm/ot.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na zhodnocení obrobitelnosti hliníkových slitin. Bylo poukázáno na problémy vznikající při obrábění těchto slitin a byla navržena opatření, která tyto problémy řeší.

Řešení pro břitové destičky ze slinutých karbidů:

- používat velmi jemný submikronový substrát ( $WC < 1 \mu m$ )
- nízký obsah kobaltu ( $Co < 10\%$  a méně)
- ostření na diamantových kotoučích se zrnitostí 30–40  $\mu m$
- destičky s mikroleštěným povrchem

Bylo zjištěno, že pro hodnocení obrobitelnosti hliníkových slitin je kritérium hospodárné řezné rychlosti nevhodné.

Opotřebením řezného nástroje nezpůsobují mechanické, ale fyzikální vlastnosti obrobku. Problém vzniká s nalepováním hliníku na nástroj. To vede k problémům s tvorbou a odvodem třísky.

Jako vhodné kritérium pro hodnocení obrobitelnosti slitin hliníku je tvar třísky. Toto kritérium zohledňuje největší problém při obrábění hliníkových slitin, nalepování hliníku na nástroj. Při obrábění jsou požadovány pouze určité druhy třísek, které jsou z hlediska plynulosti procesu nejvhodnější.

Každé zhodnocení obrobitelnosti při specifikování podmínek zkoušky obrobitelnosti přispívá k poznávání chování materiálu při řezném procesu.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
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/opory-save/fyz\\_pods\\_rez/Opora05\\_Fyzikalni\\_podstata\\_rezani.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/fyz_pods_rez/Opora05_Fyzikalni_podstata_rezani.pdf)>.
3. HOFMAN, P. *Obrábění za sucha – ano, či ne (2. část)*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne-2-cast>>
4. 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)>.
5. *Indexable inserts for machining of aluminium alloys*. Pramet Tools. Šumperk. 2002.
6. *Katalog soustružení 2008* [online]. Pramet Tools. Šumperk. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.com/download/katalog/Turning%202008%20CZ.pdf>>.
7. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
8. KOUŘIL, M., SPÁČILOVÁ, J. *Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem>>
9. KRÍŽ, A., et al. *Obrábění slitiny AlSiMg0,5Mn nástroji s progresivními tenkými vrstvami* [online]. *5. mezinárodní konference Aluminium 2007*. Hotel Bezděz, 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)>
10. LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
11. *Machining handbook*, 9. Vydání, ASME, USA, 1989, 761-804.
12. MICHNA, Š., et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd. Prešov: Adin, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
13. PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
14. ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.



15. VALACHOVÁ, P. *Obrábění slitin hliníku*. Diplomová práce v oboru „Strojírenská technologie – obrábění“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2002. 29 s.
16. ZAKREPA, V. Nové možnosti v obrábění nerezů a hliníku. *Technicbay* [online]. 2005. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.technicbay.com/zprava.php?id=70>>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

<b>Zkratka/ Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$a_p$	[mm ]	hloubka řezu
DLC		Diamond-Like Carbon
$f$	[mm.ot <sup>-1</sup> ]	posuv
HB		tvrdost podle BRINELLA
$K_v$		součinitel obrobitelnosti
PD		polykrystalický diamand
T		trvanlivost
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
$v_{cT}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	hospodárná řezná rychlost
$v_{cT/VB}$		řezná rychlost při trvanlivosti T pro opotřebení hřbetu VB
$\mu$		koeficient tření

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1    Zařazení slitin hliníku do skupin obrobitelnosti

Příloha 2    Značení základních stavů hliníkových slitin

## Příloha 1

Tab. 1a Slitiny hliníku tvářené a jejich skupiny obrábitelnosti

Označení	Stav	Provedení	Tvrdość HB (500 kg)	Skupina obrábitelnosti
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, plechý, 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, plechý, 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
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	Plechý, fólie, trubky, tyče	67	D
	H321		82	D
5086	O	Plechý, 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	Fólie	32	E
	H25		48	C
	H28		55	C
5557	O	Fólie	27	E
	H25		46	D
	H28		55	D
5652	O	Fólie, plechy	47	D
	H32		60	D
	H34		68	C
	H36		73	C
	H38		77	C
5657	H25	Fólie	40	D
	H28		50	D
6005	T5	Tyče, trubky	95	C
6061	O	Fólie, plechy, trubky, tyče, výkovky	30	D
	T4		65	C
	T6		95	C
6063	O	Tyče, trubky	25	D
	T1		42	D
	T4		60	D
	T5		60	C
	T6		73	C
	T83		82	C
	T831		70	C
T832	95	C		
6066	O	Tyče, trubky, výkovky	43	D
	T4		90	C
	T6		120	B
6070	T6	Tyče, trubky	120	C
6151	T6	Výkovky	100	...
6262	T9	Tyče, trubky	120	B
6463	T1	Tyče, trubky	42	D
	T5		60	C
	T6		74	C
6951	O	Fólie	28	...
	T6		82	...
7001	O	Tyče, trubky	60	B
	T6		160	B
7005	T53	Tyče, trubky	...	...
7075	O	Tyče, trubky, výkovky	60	D
	T6		150	B
7079	O	Tyče, trubky, výkovky	...	...
	T6		145	B
7118	O	Tyče, trubky	60	...
	T6		160	B
	T76		...	...
8280	O	Fólie, plechy	...	B
	H12		...	A

Tab. 1b Slitiny hliníku slévárenské a jejich skupiny obrobiteľnosti

Označení	Stav	Provedení	Tvrđost HB (500 kg)	Skupina obrobiteľnosti
208	F	Lití do písku	55	B
213	F	Lití do kokil	85	...
222	T52	Lití do kokil	100	...
	T551	Lití do kokil	115	...
	T65	Lití do kokil	140	...
238	F	Lití do kokil	100	B
A240	F	Lití do písku	90	A
242	F	Lití do písku	...	...
	T21	Lití do písku	75	B
	T571	Lití do písku	85	B
	T571	Lití do kokil	105	B
	T61	Lití do kokil	110	B
	T77	Lití do písku	75	B
A242	T77	Lití do písku	70	...
295	T4	Lití do písku	60	B
	T6	Lití do písku	75	B
	T62	Lití do písku	90	B
B295	T4	Lití do kokil	75	B
	T6	Lití do kokil	90	B
	T7	Lití do kokil	80	B
308	F	Lití do kokil	70	B
319	F	Lití do písku	70	C
	T5	Lití do písku	80	B
	T6	Lití do písku	80	B
A332	T551	Lití do kokil	95	C
	T65	Lití do kokil	105	C
F332	T5	Lití do kokil	125	C
333	F	Lití do kokil	90	C
	T5	Lití do kokil	100	B
	T6	Lití do kokil	105	B
	T7	Lití do kokil	90	B
354	T61	Lití do kokil	100	B
	T62	Lití do kokil	110	B
355	F	Lití do písku	...	...
	T51	Lití do písku	65	B
	T51	Lití do kokil	75	B
	T6	Lití do písku	80	B
	T6	Lití do kokil	90	B
	T61	Lití do písku	90	B
	T62	Lití do kokil	105	B
	T7	Lití do písku	82	B
	T7	Lití do kokil	85	B
	T71	Lití do písku	75	B
	T71	Lití do kokil	85	B

C355	T6	Lití do písku	85	...
	T6	Lití do kokil	90	...
	T61	Lití do kokil	100	B
356	F	Lití do písku	...	...
	F	Lití do kokil	...	...
	T51	Lití do písku	60	C
	T51	Lití do kokil	...	C
	T6	Lití do písku	70	C
	T6	Lití do kokil	90	C
	T7	Lití do písku	75	C
	T7	Lití do kokil	70	C
A356	T71	Lití do písku	60	C
	F	Lití do písku	...	...
	T51	Lití do písku	...	...
	T6	Lití do písku	75	...
	T6	Lití do kokil	80	...
357	T61	Lití do kokil	80	B
	F	Lití do kokil	...	...
	T51	Lití do kokil	...	...
	T6	Lití do písku	90	B
	T6	Lití do kokil	85	B
	T7	Lití do písku	60	...
A357	T7	Lití do kokil	70	...
	T6	Lití do písku	85	...
B358	T6	Lití do kokil	85	...
	T62	Lití do kokil	90	B
359	T6	Lití do kokil	...	...
	T62	Lití do kokil	90	...
360	T61	Lití do kokil	100	B
A360	F	Lití do formy	75	C
364	F	Lití do formy	75	C
380	F	Lití do formy	...	C
A380	F	Lití do formy	80	B
384	F	Lití do formy	80	B
390	F	Lití do formy	...	C
A390	F	Lití do formy	...	C
	F	Lití do písku	120	...
	T5	Lití do kokil	100	...
	T5	Lití do písku	110	...
	T6	Lití do kokil	110	...
	T6	Lití do písku	140	...
	T7	Lití do kokil	145	...
	T7	Lití do písku	115	...
413	T7	Lití do kokil	120	...
A413	F	Lití do formy	80	E
443	F	Lití do formy	80	...
	F	Lití do písku	40	E
	F	Lití do kokil	45	E
A444	F	Lití do formy	50	E
	F	Lití do písku	...	...
	T4	Lití do kokil	44	...
	T4	Lití do písku	...	...
		Lití do kokil	45	...



514	F	Lití do písku	50	B
A514	F	Lití do kokil	60	B
	F	Lití do formy	...	B
B514	F	Lití do písku	50	...
F514	F	Lití do písku	50	B
L514	F	Lití do formy	...	...
518	F	Lití do formy	80	B
520	T4	Lití do písku	75	B
535	F	Lití do písku	70	...
A535	F	Lití do písku	65	B
B535	F	Lití do písku	65	A
705	F	Lití do písku	65	B
707	F	Lití do písku	85	B
A712	F	Lití do písku	75	B
C712	F	Lití do kokil	70	B
D712	F	Lití do písku	75	B
713	F	Lití do písku	75	B
850	T5	Lití do písku	45	A
	T5	Lití do kokil	45	A
A850	T5	Lití do písku Lití do kokil	45	A
B850	T5	Lití do písku	65	A
	T5	Lití do kokil	70	A

## Příloha 2

Tab. 2 Označení základních stavů hliníku a jeho slitin

Označení	Tvářený	Žiháný			Ochlazený		Stárnutý				Poznámka
		Rekrytalizačně	Částečně	Stabilizačně	Z teploty tváření	Rozpouštěním žiháný	Vložené tváření	Přirozené	Umělé	Stabilizačně	
F	X										Bez zaručení vlastností
O	X	X									
H1	X										Zaručené vlastnosti
H2	X		X								
H3	X			X							
T1					X			X			
T2					X		X	X			
T3							X	X			
T4						X		X			
T5					X				X		
T6						X			X		
T7						X				X	Přestárnutý
T8						X	X		X		
T9						X			X		Tvářený za studena
T10					X		X		X		