evropský sociální fond v ČR

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Michal Martinovský

Teorie a metodika obrábění

Metodická příručka

Ing. Michal Martinovský
Teorie a metodika obrábění
Metodická příručka

Vydalo
Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i. , Praha, 2015

Návrh obálky
Radka Šebková

Číslo projektu
CZ.1.07/2.3.00/45.00 29

Publikace vznikla jako výsledek projektu Věda pro život, život pro v¨ědu (VĚŽ).
Projekt byl řešen v rámci programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost, prioritní osa Terciární vzdělávání, výzkum a vývoj, v období březen 2014 až červen 2015.

ISBN 978-80-86302-70-6

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

Metodická příručka

Teorie a metodika obrábění

Měření tvrdosti – metoda Brinell a Vickers

Měření sil – nepřímá metoda

Měření drsnosti

Autor: Ing. Michal Martinovský

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM
Fakulta výrobních technologií a managementu

Metodická příručka

Teorie a metodika obrábění

Měření tvrdosti – metoda Brinell a Vickers

Michal Martinovský
Univerzita J. E. Purkyně,
Fakulta výrobních technologií a managementu,
Pasteurova 3334/7 (budova H - kampus UJEP),
Ústí nad Labem,
400 01

Tel.: +420 475 258 547
E-mail: martinovsky@fvtm.ujep.cz

Vytvořeno dne 10. 03. 2015

V Ústí nad Labem

1. Zadání cvičení

Na dvou odlitcích změřte tvrdost metodou Brinell. Jedná se o hliníkové odlitky, tzv. siluminy. Konkrétně budete měřit tvrdost na odlitcích AlSi5. První odlitek je nemodifikovaný a druhý odlitek byl modifikován vápníkem (hmotnostní procento modifikátoru je 0,05 hm. %). Na obou odlitcích proveďte 10 měření, tj. celkem proveďte 40 měření, neboť je Vaším úkolem změřit tvrdost i na odlitcích, které byly podrobeny procesu vytvrzení. Tvrdost měřte na tvrdoměru ERNST AT250X. V závěru zhodnoťte vliv modifikátoru a tepelného zpracování, tzv. vytvrzení.

Pracovní podmínky dle analyzovaného materiálu jsou následující:

- zatížení – 62,5 Kgf,
- čas zatěžování – 10 sekund,
- indentor (kulička) – Ø 2,5 mm,
- označení metody HB10.

2. Popis měřených vzorků - z pohledu materiálu

Siluminy, neboli slitiny hliníku a křemíku, se v praxi používají na výrobu součástek, u kterých se vyžaduje především nízká hmotnost nebo odolnost proti korozi. Siluminy se rozdělují dle následné technologie zpracování:

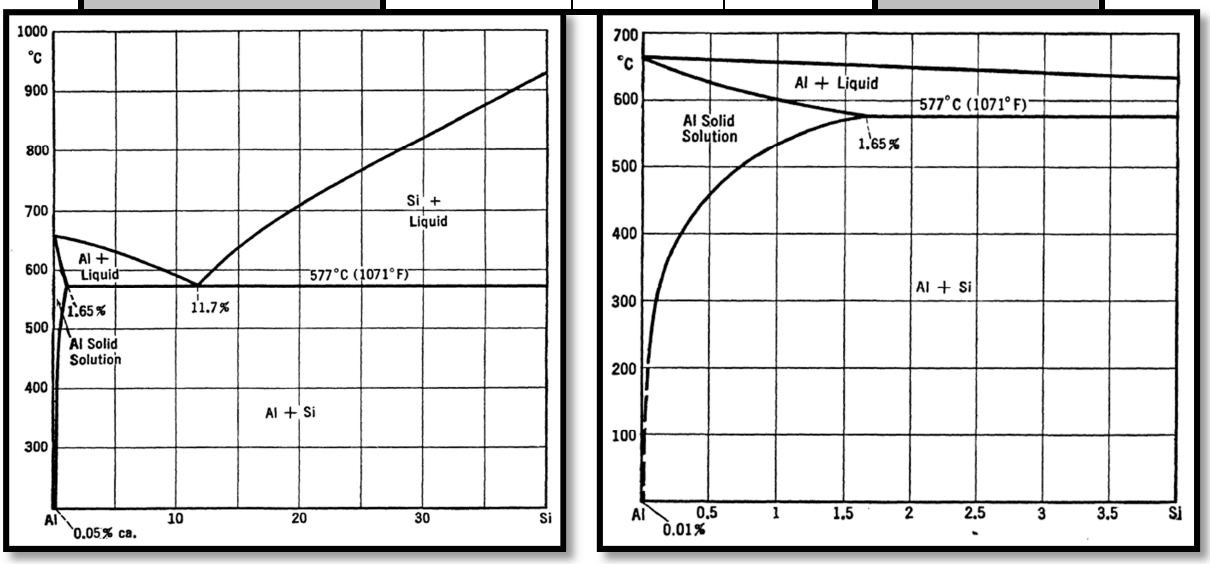
- pro tváření,
- pro odlévání,
- pro práškovou metalurgii.

Zásadní rozdíl mezi slitinami určenými pro odlévání a tváření je v obsahu legujících prvků. „*Aby byly slitiny pro tváření za tepla nebo za studena dostatečně plastické, je obsah legujících prvků poměrně nízký ve srovnání se slitinami slévárenskými.*“ [1] Mezi nejběžnější slitiny Al, které tvoří binární systém, patří Al-Cu, Al-Mg, Al-Mn, Al-Zn a především Al-Si.

Tab. č. 1: ***Specifické body v binárním diagramu Al-Si*** [2]

Reakce (fáze)	Koncentrace [at. % Si]			Teplota [°C]
L ↔ Al		0		660,452

L ↔ (Al) + (Si)	12,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	100	577 ± 1
L ↔ Si		100		1414



Obr. č. 1 a 2: ***Schematické znázornění binárního Al-Si*** [2]

Na nemodifikované slitině AlSi5 bylo naměřeno následující chemické složení:

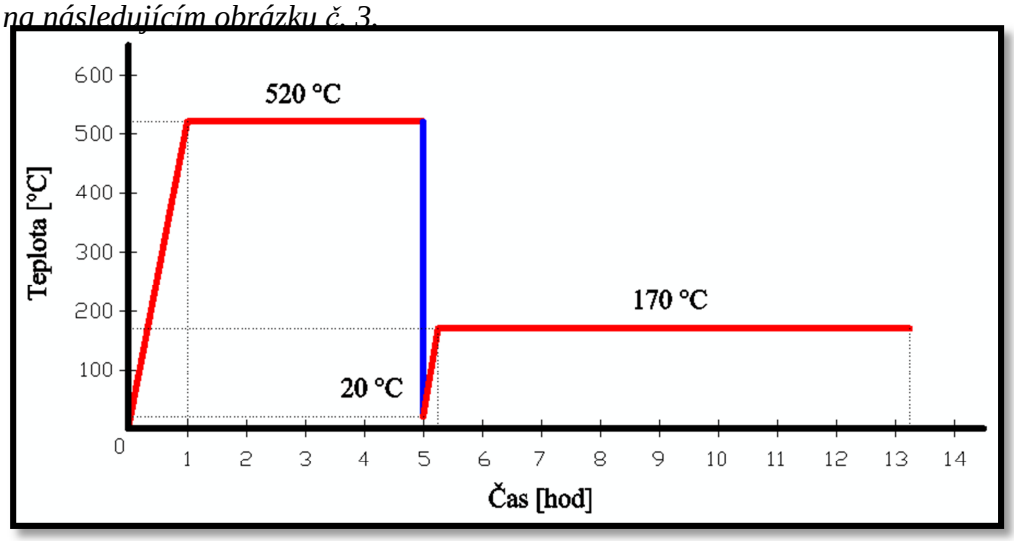
- Si 4,659 hm. %;
- Fe 0,226 hm. %;
- Cu 0,385 hm. %;
- Mg 0,595 hm. %;
- Ni 0,335 hm. %.

„Vytvrzování – je tepelné zpracování, které lze provádět u slitin hliníku, jež obsahují tuhé roztoky nebo intermediální (intermetalické) fáze. Splnění těchto podmínek vede ke vzniku vytvrditelných fází.“ [3]

Vytvrzování na obou zkoumaných materiálech probíhalo následovně:

- Ohřátí odlitku ze slitiny AlSi5 v tavícím agregátu na teplotu 520 °C.
- Setrvání na požadované teplotě 520 °C, a to po dobu 4 hodin.
- Následně je nutné odlitek ochladit ve vodní lázni. Vodní lázeň měla teplotu cca 20 °C.
- Poslední etapou procesu vytvrzování je sušení (v našem případě byly odlitky sušeny při teplotě 170 °C, a to po dobu 8 hodin).

- *Průběh teplot v rámci procesu tepelného zpracovaní je schematicky znázorněn na následujícím obrázku č. 3.*



Obr. č. 3: ***Schematické naznačení tepelného zpracování u Al-Si slitiny*** [schéma autora]

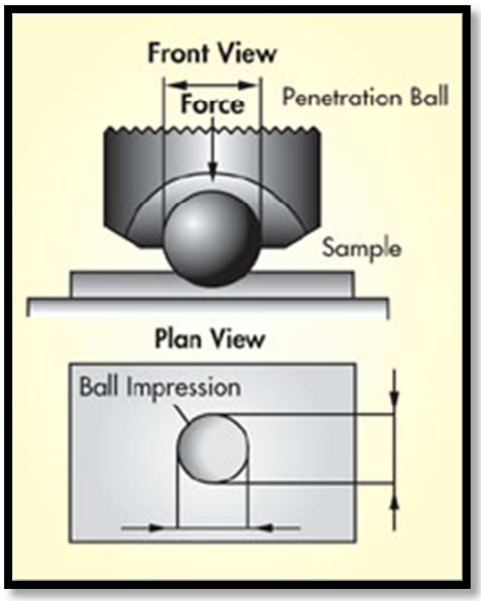
Obr. č. 4: ***Odlitky z Al-Si slitiny (1- před a 2 - po tepelném zpracování)*** [fotografie autora]

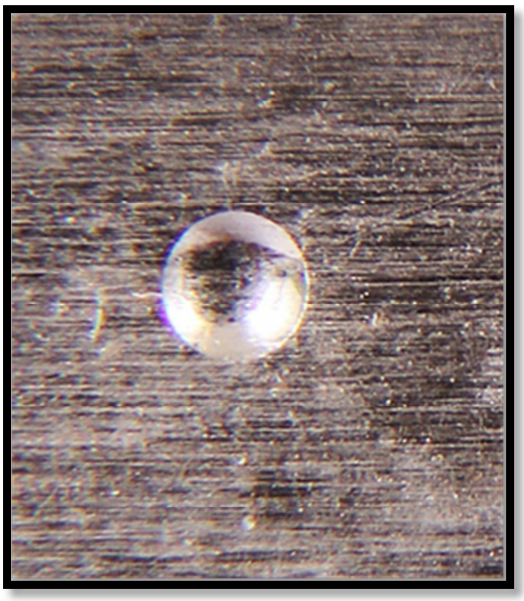
3. Postup měření - včetně důležitých údajů spojených se samotným měřením (např. f, v_c, a_p, Ød, d, označení BD, …)

Po zapnutí tvrdoměru jsme nastavili požadované parametry. Poté jsme uložili analyzovaný vzorek do prizmatu a prizma se vzorkem jsme přiblížili ke kuličce, pomocí které jsme provedli měření. Poté jsme provedli samotné měření a to tak, že jsme vtiskli kuličku do analyzovaného vzorku. Vtisk se provádí pomocí páky na tvrdoměru (kulička se přiblíží

k materiálu a následně se vtiskne do vzorku). Páku jsme přidržovali po dobu 10 sekund. Následně jsme na páku přestali vyvíjet tlak a páka se vrátila do původní (výchozí) polohy. Při poslední operaci měření tvrdosti jsme museli oddálit prizma se vzorkem od indentoru. Následovalo pootočení vzorku pro následné měření nebo výměna vzorku (pokud bylo na vzorku provedeno 20 měření).

Naměřené hodnoty jsme přepsali do tabulky v MS Excel a vygenerovali příslušný graf. V tabulce ve sloupci, který je označen „NE“ – jsou naměřené hodnoty nemodifikované slitiny AlSi5 a následující hodnoty jsou již pro slitiny modifikované – jsou označeny chemickou značkou příslušného modifikátoru.





Obr. č. 5: ***Schéma metody Brinell*** [6]

Obr. č. 6: ***Tvar vtisku kuličky v analyzovaném vzorku*** [fotografie autora]

Důležité údaje a pracovní podmínky:

- tvrdoměr – Ernst AT250X,
- metoda – Brinell (HB10),
- zatížení – 62,5 Kgf,
- čas zatěžování – 10 s,
- indentor (kulička) – Ø 2,5 mm.

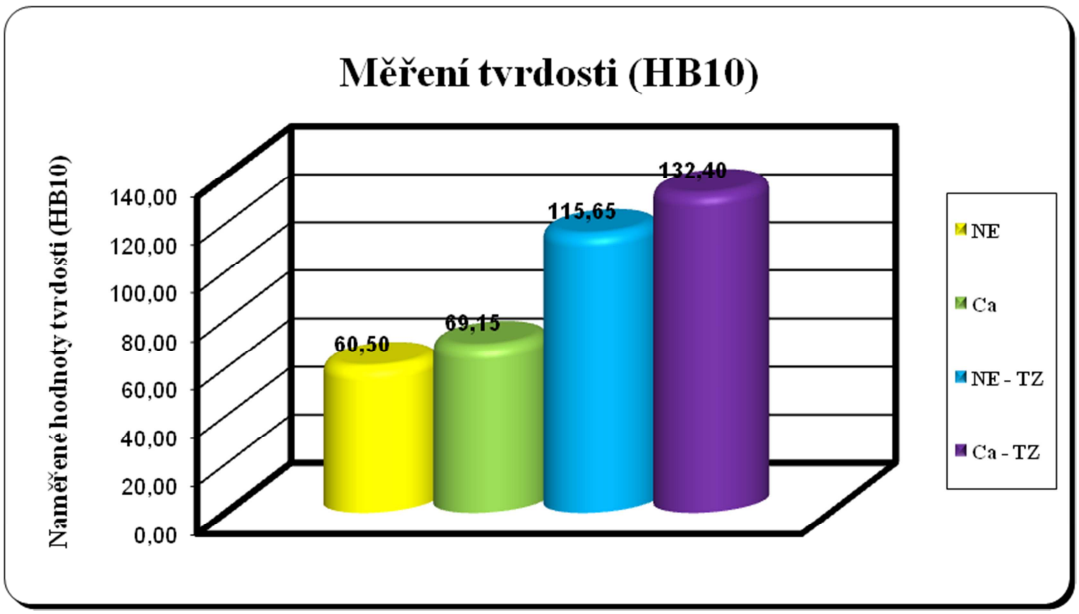
4. Výpočty, tabulky a výsledky naměřených hodnot

V následující tabulce jsou vyneseny naměřené hodnoty tvrdosti analyzovaných odlitků. Měřeno bylo metodou Brinell.

Tab. č. 2: ***Prázdná tabulka pro zapsání naměřených hodnot a naměřené hodnoty tvrdosti***

Pořadí	Měření tvrdosti (HB10)			
	Nevytvrzené vzorky		Vytvrzené vzorky	
	NE	Ca	NE	Ca
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
Ø				

Pořadí	Měření tvrdosti (HB10)			
	Nevytvrzené vzorky		Vytvrzené vzorky	
	NE	Ca	NE	Ca
1.	61	72	118	130
2.	60	69	120	132
3.	61	69	113	135
4.	59	70	114	132
5.	59	73	121	134
6.	61	70	115	129
7.	61	69	119	129
8.	60	70	119	133
9.	61	70	119	135
10.	60	68	115	131
11.	61	70	116	129
12.	60	66	116	131
13.	60	70	112	131
14.	60	73	112	135
15.	61	71	111	129
16.	61	66	112	137
17.	61	65	119	136
18.	61	69	115	137
19.	61	67	111	133
20.	61	66	116	130
Ø	60,50	69,15	115,65	132,40



Graf. č. 1: ***Výsledky z měření tvrdosti***

5. Závěr - shrnutí výsledků měření

Z naměřených hodnot tvrdosti vyplývá, že proces tepelného zpracování má na tvrdost příznivý vliv, a to až dvojnásobný. Vliv modifikátoru vápníku je též na hodnoty tvrdosti příznivý (u nevytvrzeného odlitku byla naměřena tvrdost o 12,50 % vyšší a u vytvrzeného odlitku vyšší o 12,65 %).

6. Seznam použitých zdrojů (nutno dodržet normu ČSN ISO 690)

[1] Michna, Š. et al. (2005). *Encyklopedie hliníku.* Prešov: Adin. s. 700. ISBN 80-89041-88-4.

[2] Mondolfo, L., F. (1943). *Metallography of Aluminum Alloys*. Chicago. s. 351.

[3] Nová, I. (2007). *Teorie slévání* (II. díl). Liberec: TUL. s. 169. ISBN 978-80-7372-185-5.

[4] *Web Fyzika – Jednotky* [online]. FSV ČVUT Praha. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/jednotky.pdf.

[5] Machek, V., Sodomka, J. *Vlastnosti kovových materiálů* (II. část). (2007). Praha: ČVUT. s. 141. ISBN 978-80-01-03686-0.

[6] *Quality Digest* [online]. Smith, K., Dusharme, D. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.qualitydigest.com/april04/articles/01_article.shtml.

7. Seznam příloh (např. grafy, schémata nebo fotografie z měření)

Obr. č. I: ***Tvrdoměr – Ernst AT250X***

1. Zadání cvičení

Změřte tvrdost na oceli třídy 17. Konkrétně změřte mikrotvrdost oceli a to na přístroji Shimadzu HMV Micro Hardness Tester. Proveďte 20 měření. Pracovní podmínky dle analyzovaného materiálu jsou následující:

- zatížení – 1 kg,
- čas zatěžování – 12 sekund,
- indentor – jehlan o vrcholovém úhlu 136°,
- označení metody HV1.

2. Popis měřených vzorků - z pohledu materiálu

Jedná o ocel třídy 17 – tzv. korozivzdornou ocel. Konkrétně jde o ocel 17 240, neboli o tzv. chrom-niklovou ocel. Dle příslušné normy ČSN 41 7240 by měly být chemické prvky procentuálně zastoupeny v chrom-niklové oceli 17 240 – viz tab. č. 1, dle chemické analýzy byly následující.

SLÉVÁRNA CHOMUTOV a.s.
Chemická laborator:

Datum: 20.4.2011
Cas: 11:42:15

Chemický rozbor (SPECTROMAXx)

Datum: 20.4.2011 Cas: 11:41:54 Vzorek: GOLF REZ Jakost:
Tavba: Pec: Poznámka: USTI Operator: M+L

	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %	Co %	Cu %
Do I Výsl. I Od	0,03	1,78	0,40	0,047	0,031	18,40	8,26	0,69	0,009	0,09	0,33

	Nb %	Ti %	V %	W %	B %	N %	Fe %	P+S %	Ni+Cr+ %
Do I Výsl. I Od	0,02	0,004	0,08	0,07	0,0026	0,055	69,65	0,078	

Obr. č. 1: ***Procentuální zastoupení chemických prvků v chrom-niklové oceli 17 240***

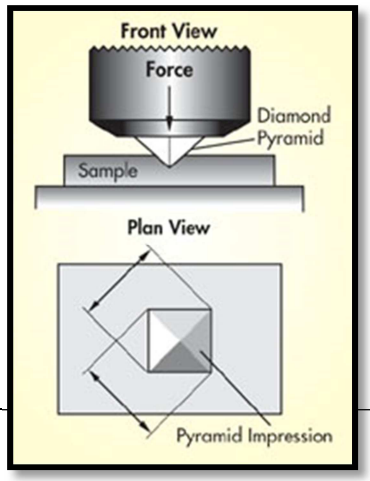
Tab. č. 1: ***Procentuální zastoupení chemických prvků v oceli 17 240 dle normy***

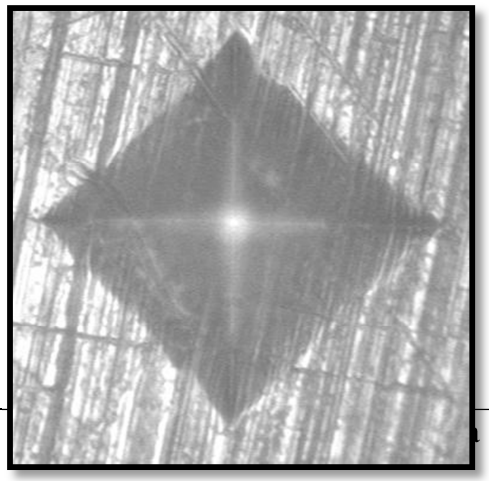
Rozmezí	Chemické značky prvků						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Min. (v %)	-	-	-	17,00	9,00	-	-
Max. (v %)	0,07	2,00	1,00	20,00	11,50	0,045	0,030
Úchylky chemického složení v hotovém výrobku	+ 0,01	+ 0,15	+ 0,05	+ 0,50 - 0,30	+ 0,50 - 0,30	-	-

3. Postup měření - včetně důležitých údajů spojených se samotným měřením (např. f, v_c, a_p, Ød, d, označení BD, …)

Po zapnutí mikrotvrdoměru jsme nastavili požadované parametry. Poté jsme uložili analyzovaný vzorek do prizmatu a prizma se vzorkem jsme přiblížili k indentoru, kterým jsme provedli měření. Poté jsme provedli samotné měření a to tak, že jsme vtiskli indentor do analyzovaného vzorku. Poté jsme na monitoru mikrotvrdoměru změřili úhlopříčky. Software nám naměřené úhlopříčky přepočetl na konkrétní hodnotu HV. Samotné měření trvalo dle příslušné normy 12 sekund. Při poslední operaci měření mikrotvrdosti jsme museli oddálit prizma se vzorkem od indentoru. Následovalo pootočení vzorku pro následné měření nebo výměna vzorku (pokud bylo na vzorku provedeno 20 měření).

Vzhledem k tomu, že bylo nastaveno zatížení 1 kg, jedná se o vyvozenou sílu o velikosti 9,807 N, označení je HV 1. Zatížení 1 kg bylo zvoleno z důvodu měření mikrotvrdosti, což je patrné z naměřených výsledků, neboť při zatížení menším než 5 kp (tj. cca 49,035 N) je nutno počítat s větším rozptylem výsledků.





Obr. č. 2 a 3: ***Schéma metody Vickers*** [4] ***a tvar vtisku indentoru v analyzovaném vzorku***

Důležité údaje a pracovní podmínky:

- tvrdoměr – Shimadzu HMV Micro Hardness Tester,
- metoda – Vickers (HV1),
- zatížení – 1 kg,
- čas zatěžování – 12 s,
- indentor – jehlan o vrcholovém úhlu 136°.

4. Výpočty, tabulky a výsledky naměřených hodnot

V následující tabulce jsou vyneseny naměřené hodnoty tvrdosti analyzovaných odlitků. Měřeno bylo metodou Brinell.

Tab. č. 2: ***Prázdná tabulka pro zapsání naměřených hodnot a naměřené hodnoty tvrdosti***

Pořadí	Ocel třídy 17
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	

Pořadí	Ocel třídy 17
1.	210
2.	207
3.	226
4.	204
5.	215
6.	207
7.	213
8.	206
9.	216
10.	207
11.	220
12.	212
13.	230
14.	216
15.	218
16.	210
17.	210
18.	217

19.			**19.**	**217**
20.			**20.**	**209**
Ø			**Ø**	**213,5**

5. Závěr - shrnutí výsledků z měření

Kolísání naměřených hodnot lze přisuzovat počáteční korozi analyzované oceli 17 240. Kdyby byla tvrdost měřena metodou Brinell, jak tomu bylo v předešlé úloze, nebylo by kolísání hodnot takto výrazné. Průměrná naměřená hodnota odpovídá rozmezí hodnot, které uvádí příslušná norma.

6. Seznam použitých zdrojů (nutno dodržet normu ČSN ISO 690)

[1] Nová, I. (2007). *Teorie slévání* (II. díl). Liberec: TUL. s. 169. ISBN 978-80-7372-185-5.

[2] *Web Fyzika – Jednotky* [online]. FSV ČVUT Praha. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/jednotky.pdf.

[3] Machek, V., Sodomka, J. *Vlastnosti kovových materiálů* (II. část). (2007). Praha: ČVUT. s. 141. ISBN 978-80-01-03686-0.

[4] *Quality Digest* [online]. Smith, K., Dusharme, D. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.qualitydigest.com/april04/articles/01_article.shtml.

7. Seznam příloh (např. grafy, schémata nebo fotografie z měření)

Obr. č. I: ***Shimadzu HMV Micro Hardness Tester***

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM
Fakulta výrobních technologií a managementu

Metodická příručka

Teorie a metodika obrábění

Měření sil – nepřímá metoda

Michal Martinovský
Univerzita J. E. Purkyně,
Fakulta výrobních technologií a managementu,
Pasteurova 3334/7 (budova H - kampus UJEP),
Ústí nad Labem,
400 01

Tel.: +420 475 258 547
E-mail: martinovsky@fvtm.ujep.cz

Vytvořeno dne 10. 03. 2015

V Ústí nad Labem

6. Zadání cvičení

Vaším úkolem je změřit síly při soustružení. Měření proveďte na odlitku nemodifikované slitiny AlSi5 tepelně zpracované, konkrétně změřte sílu F_c, tzv. řeznou sílu. Sílu měřte nepřímou metodou, tj. proveďte výpočet pomocí změření příkonu.

Princip měření bude následující:

- Nejprve musíte změřit výkon naprázdno, tj. před najetím břitu do řezu.
- Až poté změřte výkon za chodu.
- Z těchto dvou hodnot vypočtěte rozdíl, tj. dosáhnete výsledku *Užitého výkonu* ($P_{už}$). Následně se řezná síla vypočte z poměru *Užitého výkonu* ($P_{už}$) a *Řezné rychlosti* (v_c).

kde:

k	konstanta [-]
$P_{už}$	užitný výkon [W]
P_c	řezný výkon [W]
P_o	výkon při chodu na prázdno [W]
F_c	řezná síla [N]
v_c	řezná rychlost [$m.min^{-1}$]
60	převod řezné rychlosti z $m.min^{-1}$ na $m.s^{-1}$

Z naměřených dat zpracujte tabulku a příslušný bodový graf. Proměnnými hodnotami jsou – *otáčky* (n), *posuv* (f) a *hloubka řezu* (a_p). Naměřené hodnoty zapište do příslušných tabulek.

Tabulka č. 1: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – otáčky***

$F_c = f(v_c)$					ØD [mm]	
n [min^{-1}]	P_c [W]	P_o [W]	$P_{už}$ [W]	k [-]	v_c [m.min^{-1}]	F_c [N]
400				10,00		
500						
600						
700						
800						

Tabulka č. 2: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – posuv***

$F_c = f(f)$					ØD [mm]	
f [mm]	P_c [W]	P_o [W]	$P_{už}$ [W]	k [-]	v_c [m.min^{-1}]	F_c [N]
0,03				10,00		
0,06						
0,12						
0,21						
0,30						

Tabulka č. 3: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – hloubka řezu***

$F_c = f(a_p)$					ØD [mm]	
a_p [mm]	P_c [W]	P_o [W]	$P_{už}$ [W]	k [-]	v_c [m.min^{-1}]	F_c [N]
0,25				10,00		
0,50						

0,75						
1,00						
1,25						

7. Popis měřených vzorků - z pohledu materiálu

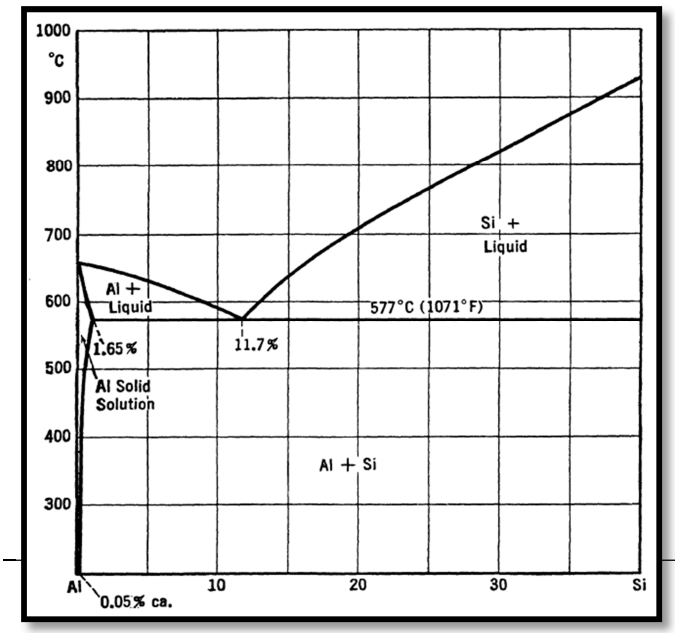
Siluminy, neboli slitiny hliníku a křemíku, se v praxi používají na výrobu součástek, u kterých se vyžaduje především nízká hmotnost nebo odolnost proti korozi. Siluminy se rozdělují dle následné technologie zpracování:

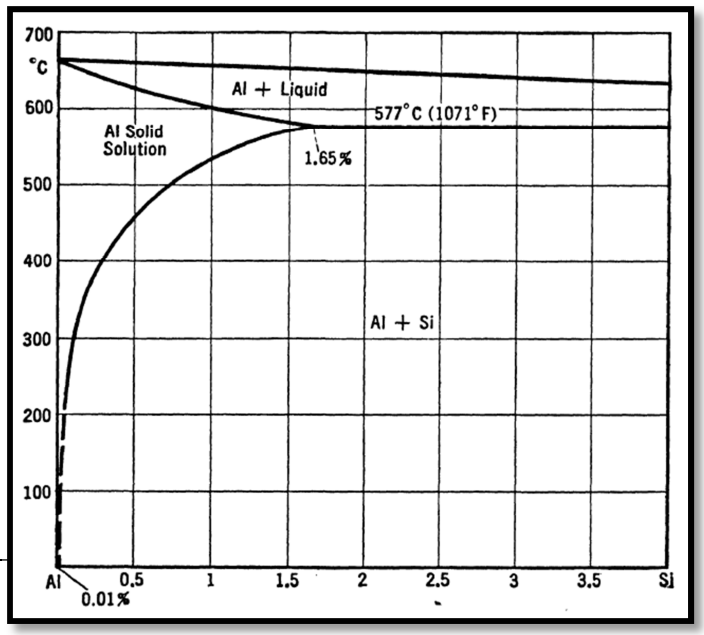
- pro tváření,
- pro odlévání,
- pro práškovou metalurgii.

Zásadní rozdíl mezi slitinami určenými pro odlévání a tváření je v obsahu legujících prvků. *„Aby byly slitiny pro tváření za tepla nebo za studena dostatečně plastické, je obsah legujících prvků poměrně nízký ve srovnání se slitinami slévárenskými.“* [1] Mezi nejběžnější slitiny Al, které tvoří binární systém, patří Al-Cu, Al-Mg, Al-Mn, Al-Zn a především Al-Si.

Tab. č. 4: ***Specifické body v binárním diagramu Al-Si*** [2]

Reakce (fáze)	Koncentrace [at. % Si]			Teplota [°C]
L ↔ Al		0		660,452
L ↔ (Al) + (Si)	12,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	100	577 ± 1
L ↔ Si		100		1414





Obr. č. 1 a 2: ***Schematické znázornění binárního Al-Si*** [2]

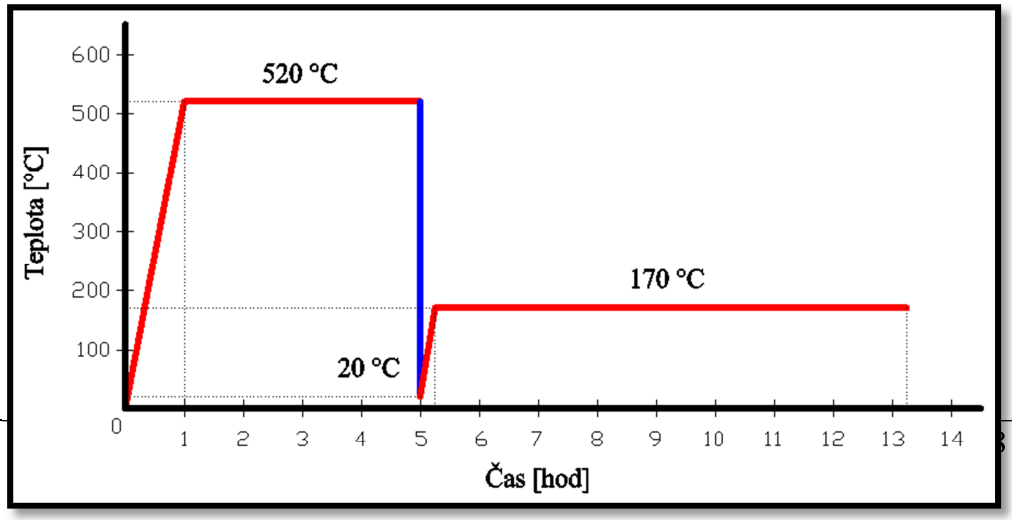
Na nemodifikované slitině AlSi5 bylo naměřeno následující chemické složení:

- Si 4,659 hm. %;
- Fe 0,226 hm. %;
- Cu 0,385 hm. %;
- Mg 0,595 hm. %;
- Ni 0,335 hm. %.

„Vytvrzování – je tepelné zpracování, které lze provádět u slitin hliníku, jež obsahují tuhé roztoky nebo intermediální (intermetalické) fáze. Splnění těchto podmínek vede ke vzniku vytvrditelných fází.“ [3]

Vytvrzování na obou zkoumaných materiálech probíhalo následovně:

- Ohřátí odlitku ze slitiny AlSi5 v tavícím agregátu na teplotu 520 °C.
- Setrvání na požadované teplotě 520 °C, a to po dobu 4 hodin.
- Následně je nutné odlitek ochladit ve vodní lázni. Vodní lázeň měla teplotu cca 20 °C.
- Poslední etapou procesu vytvrzování je sušení (v našem případě byly odlitky sušeny při teplotě 170 °C, a to po dobu 8 hodin).
- *Průběh teplot v rámci procesu tepelného zpracovaní je schematicky znázorněn na následujícím obrázku č. 3.*



Obr. č. 3: ***Schematické naznačení tepelného zpracování u Al-Si slitiny*** [schéma autora]

Obr. č. 4: ***Odlitky z Al-Si slitiny (1- před a 2 - po tepelném zpracování)*** [fotografie autora]

8. Postup měření - včetně důležitých údajů spojených se samotným měřením (např. f, v_c, a_p, Ød, d, označení BD, …)

PC se softwarem pro měření, tzv. měřící stanicí, jsme zapojili mezi fázový a nulový vodič. Proto bylo nutné, abychom násobili výkon vždy hodnotou 3 tak, abychom obdrželi celkový výkon obrábění. Tím, že se výkon násobil třemi, je hodnota celkového výkonu ovlivněna chybou, neboť předpokládáme, že je ve všech fázích stejný výkon – což ve skutečnosti není příliš reálné. V rámci cvičení se ale jedná o zanedbatelnou chybu.

Po zapojení měřící stanice jsme zkontrolovali, zda jsou v pořádku všechny bezpečností prvky (např. zda nelze spustit soustruh, když je otevřený kryt nad sklíčidlem). Poté jsme změřili průměr vzorků, hodnotu jsme zapsali, neboť je to důležitý údaj pro následující měření. Z průměru jsme vypočetli otáčky upnutého obrobku a řeznou rychlost břitu.

Před samotným měřením bylo nutné změřit příkon soustruhu na prázdno, tj. příkon, který je nutný na vyvození pohybu obrobku, na chod čerpadla pro řeznou kapalinu, na osvětlení atd. Naměřenou hodnotu na prázdno jsme zapsali, neboť je důležitá

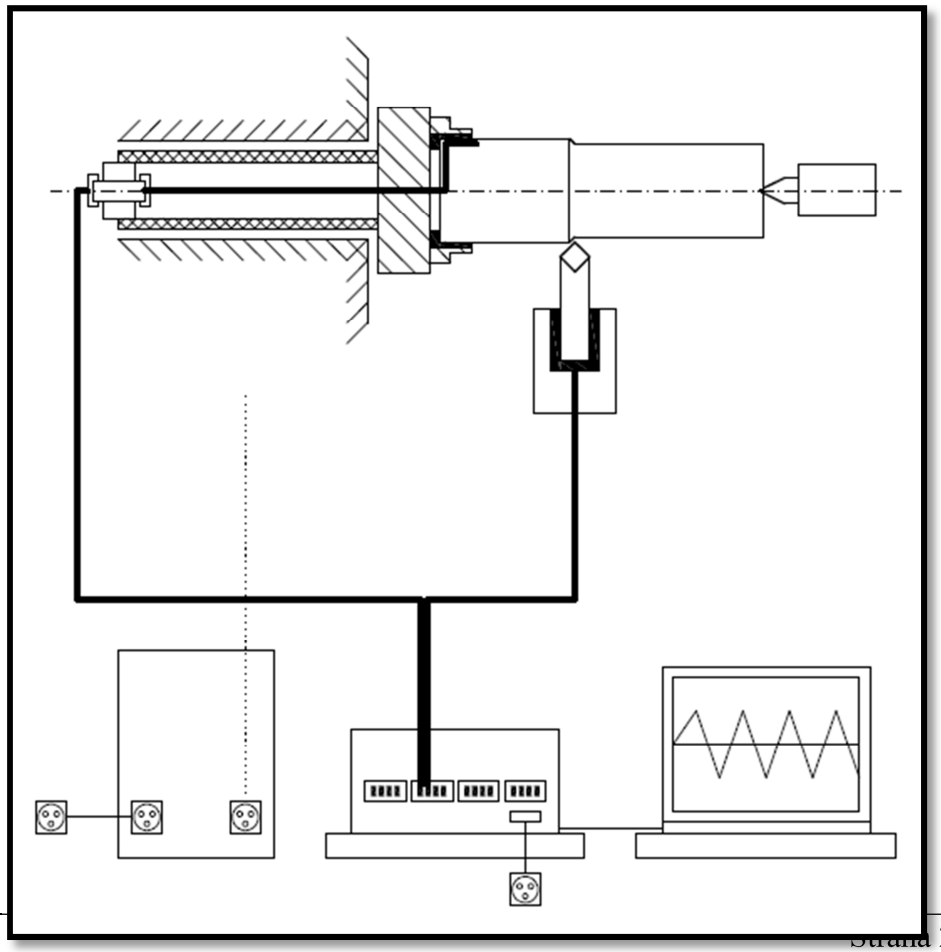
pro následující výpočet řezné síly. Poté bylo možné měřit příkon za chodu, tj. z wattmetru měřící stanice jsme odečetli konkrétní hodnotu (tzn. až po ustálení příkonu, neboť při záběru do řezu je příkon nekonstantní). Tento proces bylo nutné opakovat čtyřikrát. Celkem tedy probíhalo pět měření. Analogicky jsme technologický postup opakovali i u ostatních měření, kde proměnnou byl posuv, resp. hloubka řezu.

Důležité údaje a řezné podmínky:

- soustruh – EMCOMAT-14S,
- nástroj – VBD SCMT 09T304E-UR, SK S POVLAKEM TIC,
- držák – VBD PRAMET (SCLCR 1212 F09 KT104),
- materiál – AlSi5 (bez i po tepelném zpracování),
- délka dráhy soustružení – s = 20 mm.

9. Výpočty, tabulky a výsledky naměřených hodnot

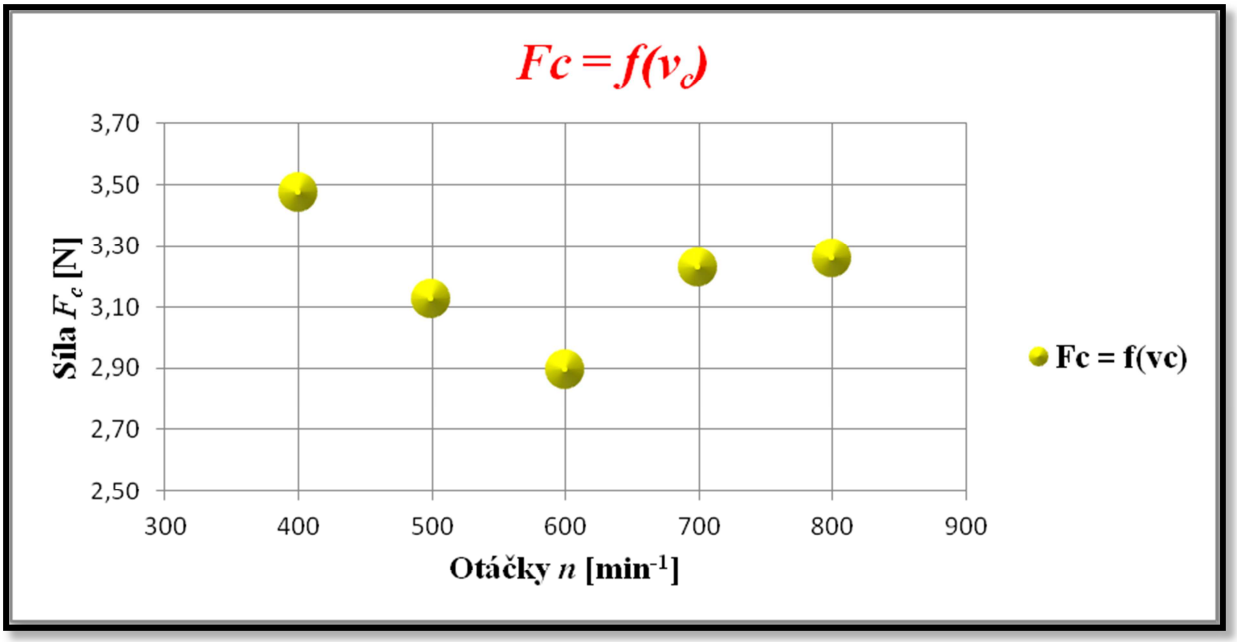
Na obr. č. 5 je schematicky znázorněné zapojení měřící stanice a soustruhu. Při tomto zapojení lze měřit i teploty při obrábění, tzv. metodou přirozeného termočlánku. Toto měření ale není součástí daného cvičení.



Obr. č. 5: ***Schematické naznačení zapojení měřící stanice*** [schéma autora]

Tabulka č. 5: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – otáčky***

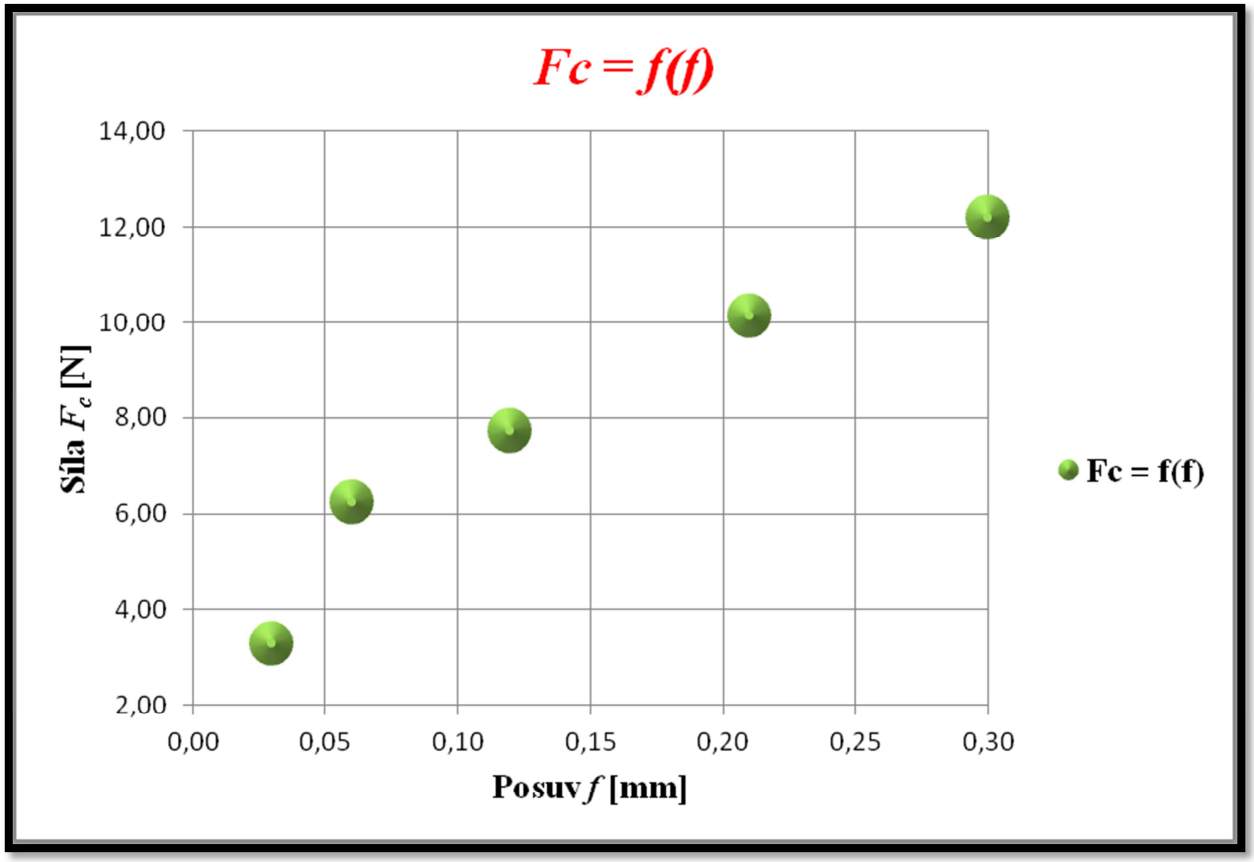
$F_c = f(v_c)$					ØD [mm]	55,00
n [min^{-1}]	**P_c [W]**	**P_o [W]**	**$P_{už}$ [W]**	**k [-]**	**v_c [m.min^{-1}]**	**F_c [N]**
400	16,00	8,00	240,00	**10,00**	69,08	**3,47**
500	19,00	10,00	270,00		86,35	**3,13**
600	21,00	11,00	300,00		103,62	**2,90**
700	24,00	11,00	390,00		120,89	**3,23**
800	26,00	11,00	450,00		138,16	**3,26**



Graf č. 1: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – otáčky***

Tabulka č. 6: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – posuv***

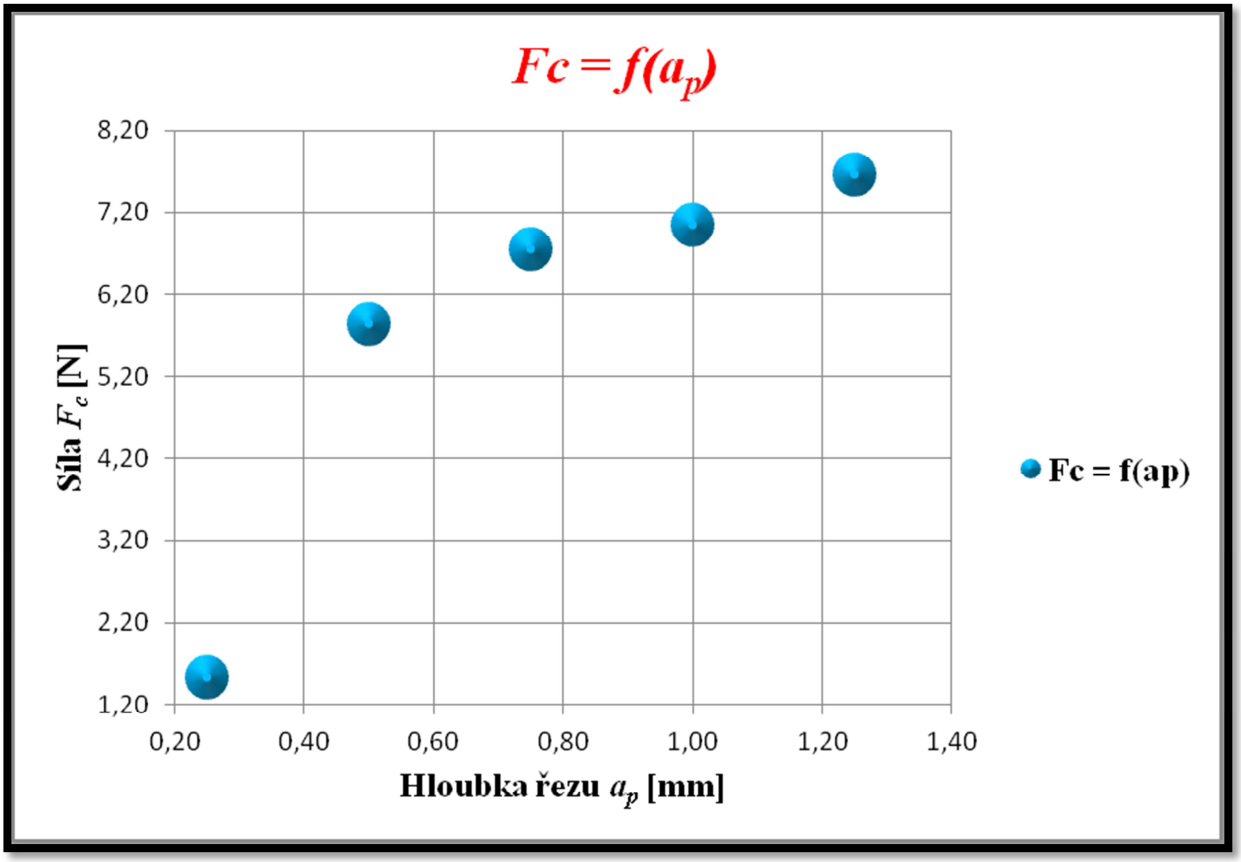
$F_c = f(f)$					ØD [mm]	53,50
f [mm]	**P_c [W]**	**P_o [W]**	**$P_{už}$ [W]**	**k [-]**	**v_c [m.min^{-1}]**	**F_c [N]**
0,03	19,00		330,00			**3,27**
0,06	21,00		630,00			**6,25**
0,12	26,00	8,00	780,00	**10,00**	100,79	**7,74**
0,21	34,00		1020,00			**10,12**
0,30	41,00		1230,00			**12,20**



Graf č. 2: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – posuv***

Tabulka č. 7: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – hloubka řezu***

$F_c = f(a_p)$					ØD [mm]	52,00
a_p [mm]	P_c [W]	P_o [W]	$P_{už}$ [W]	k [-]	v_c [m.min^{-1}]	F_c [N]
0,25	15,00		150,00			**1,53**
0,50	19,00		570,00			**5,82**
0,75	22,00	10,00	660,00	**10,00**	97,97	**6,74**
1,00	23,00		690,00			**7,04**
1,25	25,00		750,00			**7,66**



Graf č. 3: ***Závislost řezné síly na proměnném parametru – hloubka řezu***

10. Závěr - shrnutí výsledků z měření

Soustružený odlitek ze slitiny AlSi5 byl obráběn bez jakéhokoliv mazacího, resp. chladícího prostředku, neboť kapalina by mohla negativně ovlivnit měření. Změřené

hodnoty F_c (řezné síly) se u všech třech proměnných, tj. otáčky, posuv a hloubka řezu, nelišil od hodnot, které jsme předpokládali před samotným měřením.

Pouze dvě hodnoty u měření řezné síly za proměnných otáček jsou vychýlené dle našeho předpokladu, což lze interpretovat vzniklým nárůstkem na břitu VBD. Byla tedy potřeba větší síla na překonání řezného odporu.

11. Seznam použitých zdrojů (nutno dodržet normu ČSN ISO 690)

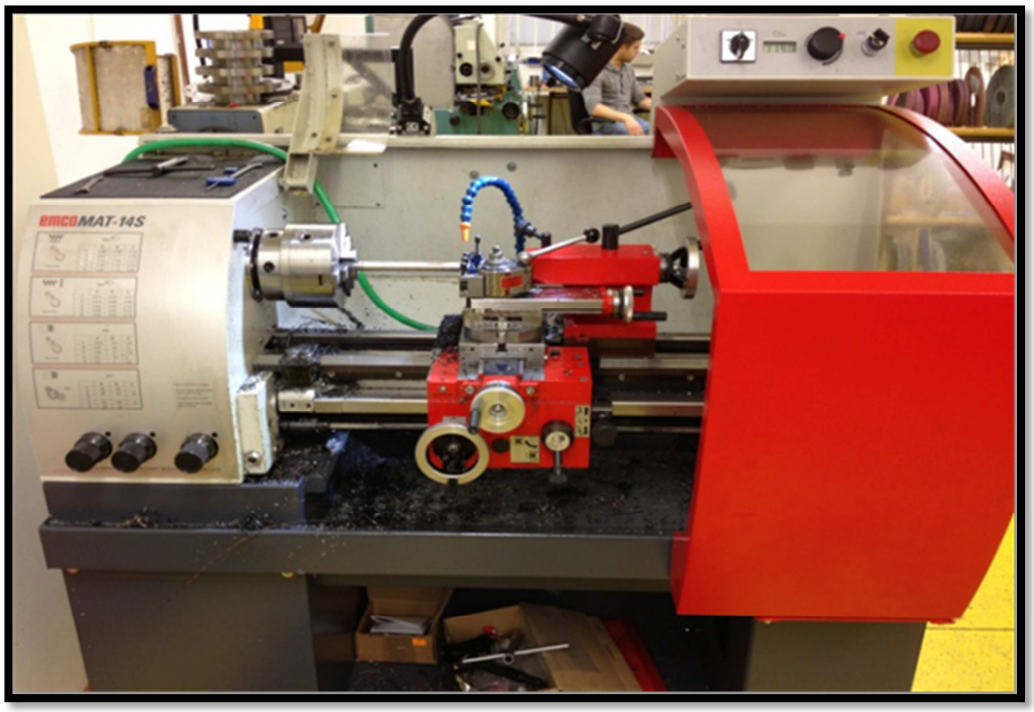
[5] Michna, Š. et al. (2005). *Encyklopedie hliníku.* Prešov: Adin. s. 700. ISBN 80-89041-88-4.

[6] Mondolfo, L., F. (1943). *Metallography of Aluminum Alloys*. Chicago. s. 351.

[7] Nová, I. (2007). *Teorie slévání* (II. díl). Liberec: TUL. s. 169. ISBN 978-80-7372-185

[8] Mádl, J. (1988). *Experimentální metody v teorii obrábění*. Praha: ČVUT. s. 153.

12. Seznam příloh (např. grafy, schémata nebo fotografie z měření)



Obr. č. I: ***Soustruh EMCOMAT-14S***

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM
Fakulta výrobních technologií a managementu

Metodická příručka

Teorie a metodika obrábění

Měření drsnosti

Michal Martinovský
Univerzita J. E. Purkyně,
Fakulta výrobních technologií a managementu,
Pasteurova 3334/7 (budova H - kampus UJEP),
Ústí nad Labem,
400 01

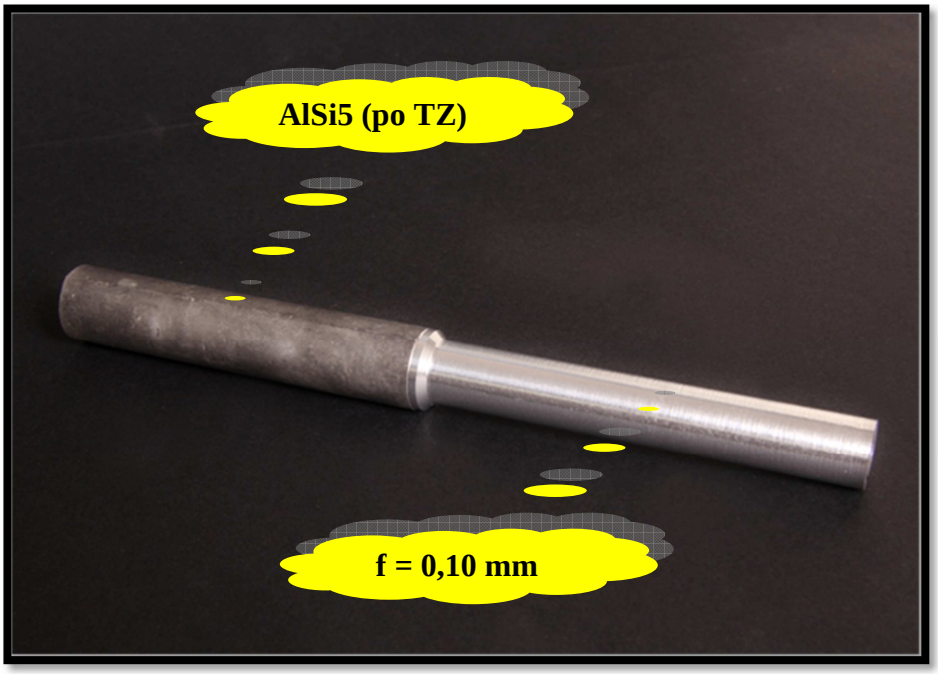
Tel.: +420 475 258 547
E-mail: martinovsky@fvtm.ujep.cz

Vytvořeno dne 10. 03. 2015

V Ústí nad Labem

13. Zadání cvičení

Změřte hodnotu drsnosti na dvou odlitcích, které byly soustruženy s proměnným posuvem, tj. f = 0,03; 0,10; 0,21 a 0,30 mm. Zkoumané odlity jsou odlity z hliníkové slitiny, konkrétně ze slitiny hliníku a křemíku – AlSi5. První odlitek je bez tepelného zpracování a druhý je naopak tepelně zpracován. Na obou odlitcích, resp. na každém posuvu proveďte pět měření, tj. 2 odlitky, 4 různé hodnoty posuvu a 5 měření na každém posuvu, tzn., proveďte celkem 40 měření. Naměřené hodnoty *Ra* a *Rz* zapište do tabulky. Z naměřených hodnot pro každý posuv vytvořte bodový graf. V závěru zhodnoťte vliv tepelného zpracování i abnormální výkyvy hodnot v grafu.



Obr. č. 1: ***Tvar a velikost analyzovaných vzorků*** (slitina AlSi5 po tepelném zpracování)

14. Popis měřených vzorků - z pohledu materiálu

Siluminy, neboli slitiny hliníku a křemíku, se v praxi používají na výrobu součástek, u kterých se vyžaduje především nízká hmotnost nebo odolnost proti korozi. Siluminy se rozdělují dle následné technologie zpracování:

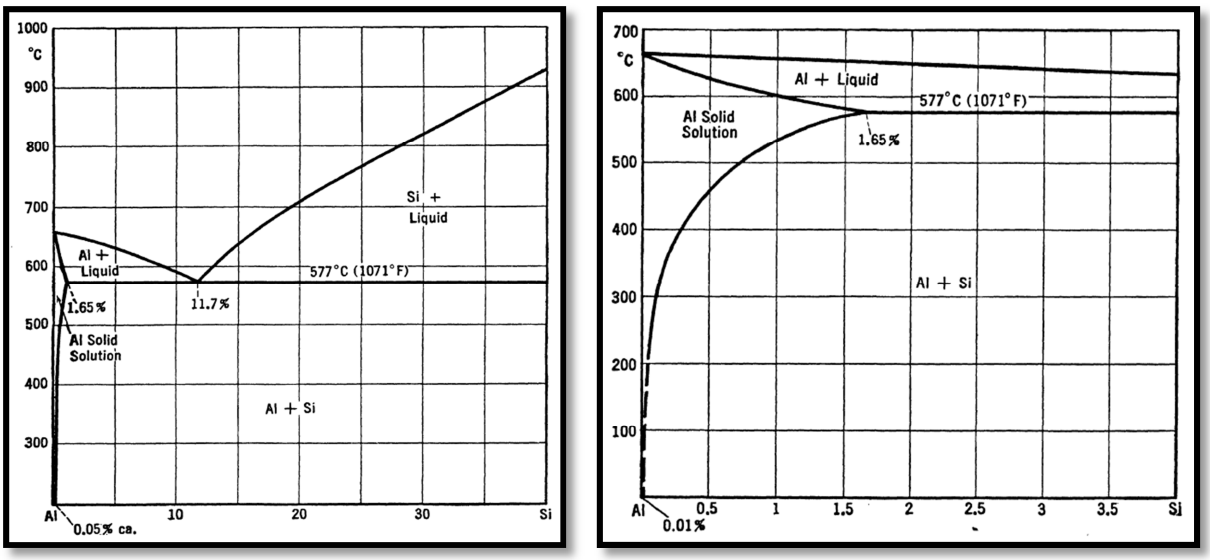
- pro tváření,

- pro odlévání,
- pro práškovou metalurgii.

Zásadní rozdíl mezi slitinami určenými pro odlévání a tváření je v obsahu legujících prvků. „*Aby byly slitiny pro tváření za tepla nebo za studena dostatečně plastické, je obsah legujících prvků poměrně nízký ve srovnání se slitinami slévárenskými.*“ [1] Mezi nejběžnější slitiny Al, které tvoří binární systém, patří Al-Cu, Al-Mg, Al-Mn, Al-Zn a především Al-Si.

Tab. č. 1: ***Specifické body v binárním diagramu Al-Si*** [2]

Reakce (fáze)	Koncentrace [at. % Si]			Teplota [°C]
L ↔ Al		0		660,452
L ↔ (Al) + (Si)	12,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	100	577 ± 1
L ↔ Si		100		1414



Obr. č. 2 a 3: ***Schematické znázornění binárního Al-Si*** [2]

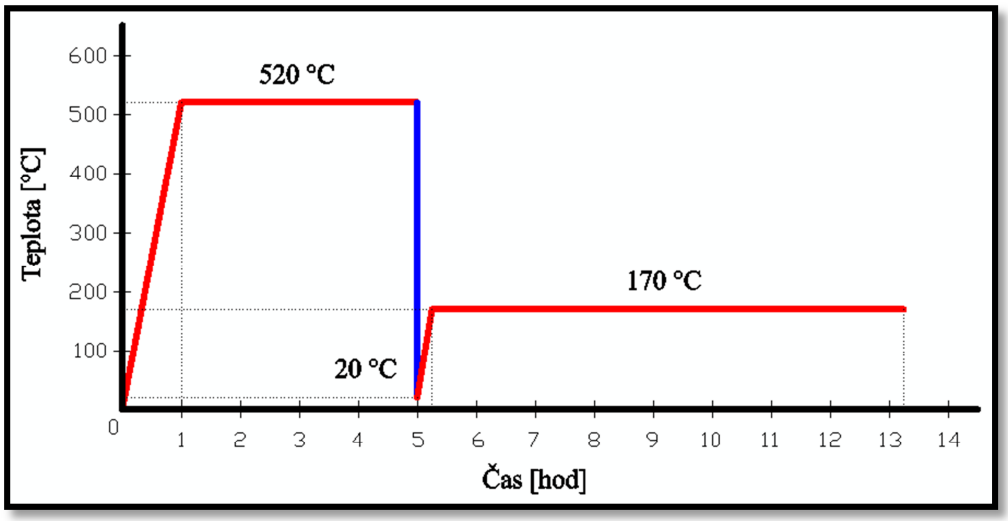
Na nemodifikované slitině AlSi5 bylo naměřeno následující chemické složení:

- Si 4,659 hm. %;
- Fe 0,226 hm. %;
- Cu 0,385 hm. %;
- Mg 0,595 hm. %;
- Ni 0,335 hm. %.

„Vytvrzování – je tepelné zpracování, které lze provádět u slitin hliníku, jež obsahují tuhé roztoky nebo intermediální (intermetalické) fáze. Splnění těchto podmínek vede ke vzniku vytvrditelných fází.“ [3]

Vytvrzování na obou zkoumaných materiálech probíhalo následovně:

- Ohřátí odlitku ze slitiny AlSi5 v tavícím agregátu na teplotu 520 °C.
- Setrvání na požadované teplotě 520 °C, a to po dobu 4 hodin.
- Následně je nutné odlitek ochladit ve vodní lázni. Vodní lázeň měla teplotu cca 20 °C.
- Poslední etapou procesu vytvrzování je sušení (v našem případě byly odlitky sušeny při teplotě 170 °C, a to po dobu 8 hodin).
- *Průběh teplot v rámci procesu tepelného zpracovaní je schematicky znázorněn na následujícím obrázku č. 4.*



Obr. č. 4: ***Schematické naznačení tepelného zpracování u Al-Si slitiny*** [schéma autora]

Obr. č. 5: ***Odlitky z Al-Si slitiny (1- před a 2 - po tepelném zpracování)*** [fotografie autora]

15. Postup měření - včetně důležitých údajů spojených se samotným měřením (např. f, v_c, a_p, Ød, d, označení BD, …)

Po spuštění software na PC, bylo nutné načíst osy na drsnoměru. Načtení os je prováděno pro zjištění a následné ustanovení nulové polohy. Teprve pak bylo možné v softwaru nastavit dané parametry, např. délku dráhy snímání (Lt = 4,8 mm), zbylé parametry jsou automaticky nastaveny dle příslušné ČSN ISO normy, konkrétně se jedná o normu ČSN EN ISO 4288, popř. dle německé normy DIN 4768.

Následně byl uložen analyzovaný vzorek na prizma. Po stisknutí ikony *Start* (F5), *Autonula* (F8), tj. najetí hrotu *„do nulové vzdálenosti“* v systému hrot-povrch obrobku a opětovném stisknutí ikony *Start* (F5), bylo možné provést dané měření drsnosti analyzovaného vzorku – odlitku AlSi5. Po ukončení měření a následném najetí *„do nulové vzdálenosti“*, bylo možné poodjet měřícím hrotem ve směru osy *y*, tak vysoko nad obrobek, aby bylo možné obrobek pootočit pro další měření. Tento proces bylo potřeba provést čtyřikrát. Celkem bylo měřeno pětkrát – na každém posuvu. Naměřené hodnoty bylo nutné zapsat pro následné zpracováni grafů v MS EXCEL.

Důležité údaje a řezné podmínky:

- soustruh – EMCOMAT-14S,
- nástroj – VBD SCMT 09T304E-UR, SK S POVLAKEM TIC,
- držák – VBD PRAMET (SCLCR 1212 F09 KT104),
- materiál – AlSi5 (bez i po tepelném zpracování),
- průměr obrobku ØD = 59,5 mm,
- délka dráhy soustružení s = 30 mm,
- hloubka řezu a_p = 0,75 mm,
- řezná rychlost v_c = 150 m.min^{-1},
- posuv f = 0,03; 0,10; 0,21; 0,30 mm,
- otáčky - $n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = 802\left[\min^{-1}\right]$,
- drsnoměr – Hommel Tester T8000,
- délka dráhy snímače Lt = 4,8 mm,
- rychlost snímání Vt = 0,50 mm,

- typ filtru (λ_s) Lc = 0,80 mm.

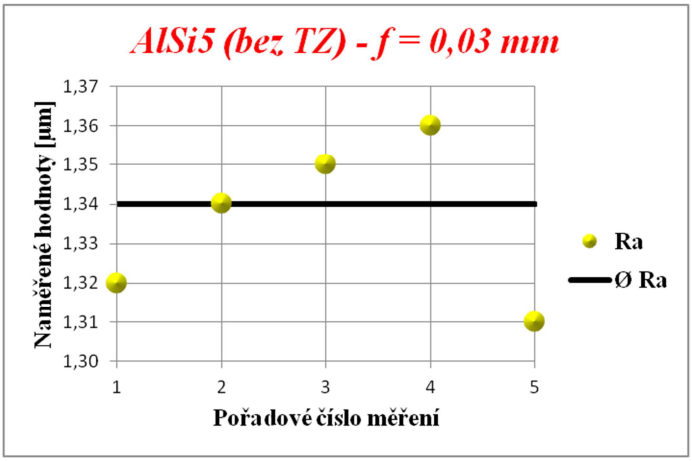
16. Výpočty, tabulky a výsledky naměřených hodnot

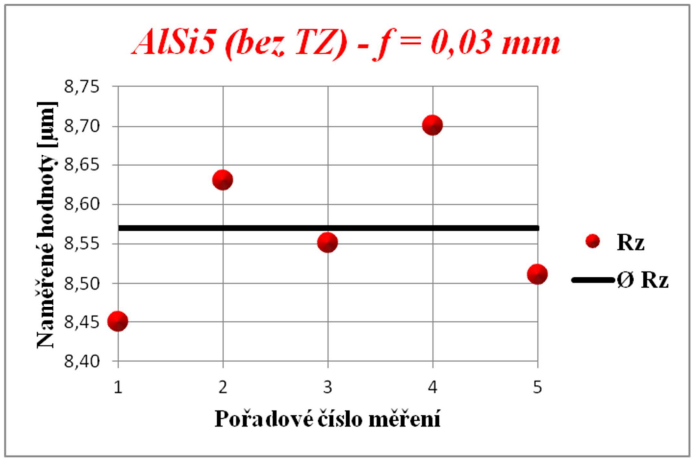
V následujících tabulkách jsou vyneseny naměřené hodnoty drsnosti analyzovaných odlitků. Měřeno na drsnoměru Hommel Tester T8000.

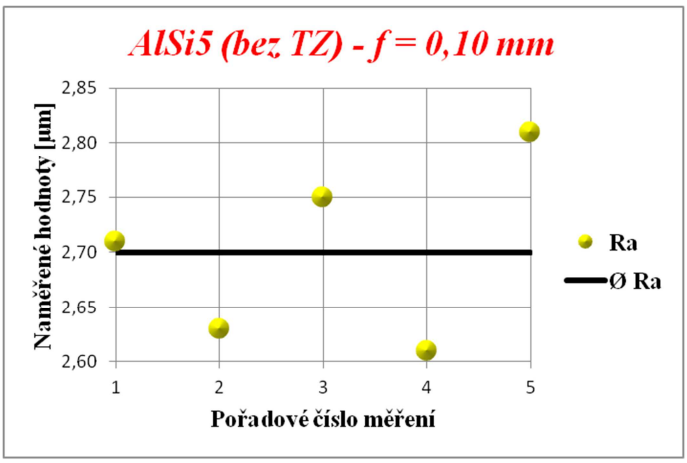
Tabulka č. 2 a 3: ***Naměřené hodnoty drsností AlSi5 bez TZ, resp. po TZ***

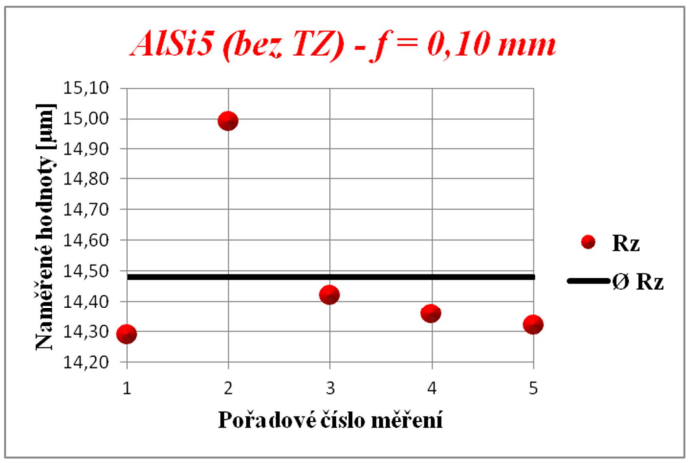
Výsledky z měření	AlSi5 (bez TZ)							
	f = 0,03 mm		f = 0,10 mm		f = 0,21 mm		f = 0,30 mm	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
	1,32	8,45	2,71	14,29	4,33	22,80	7,04	34,79
	1,34	8,63	2,63	14,99	4,77	25,32	7,57	34,05
	1,35	8,55	2,75	14,42	6,12	32,56	7,37	34,35
	1,36	8,70	2,61	14,36	4,76	27,21	7,24	34,19
	1,31	8,51	2,81	14,32	4,98	26,06	7,45	43,76
Ø	**1,34**	**8,57**	**2,70**	**14,48**	**4,99**	**26,79**	**7,33**	**36,23**

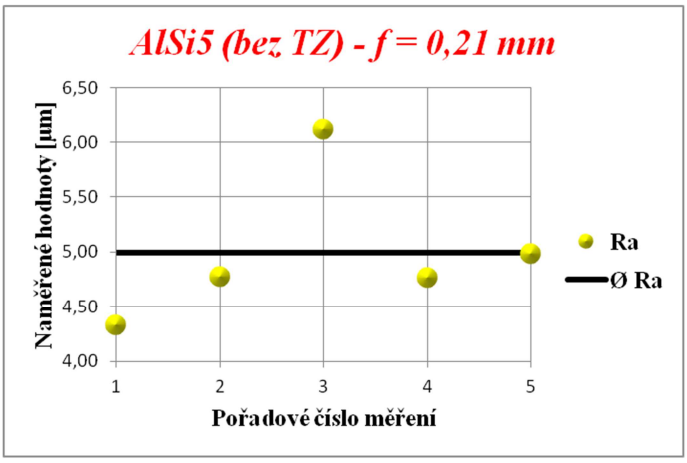
Výsledky z měření	AlSi5 (po TZ)							
	f = 0,03 mm		f = 0,10 mm		f = 0,21 mm		f = 0,30 mm	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
	0,66	4,73	1,53	6,71	4,20	17,40	7,80	34,30
	0,65	4,48	1,56	6,64	4,10	18,20	7,80	34,40
	0,64	3,97	1,47	6,56	4,10	19,90	7,80	33,30
	0,58	4,27	1,52	7,13	4,10	17,80	7,60	33,20
	0,67	5,24	1,53	6,56	4,10	17,70	7,70	33,90
Ø	**0,64**	**4,54**	**1,52**	**6,72**	**4,12**	**18,20**	**7,74**	**33,82**

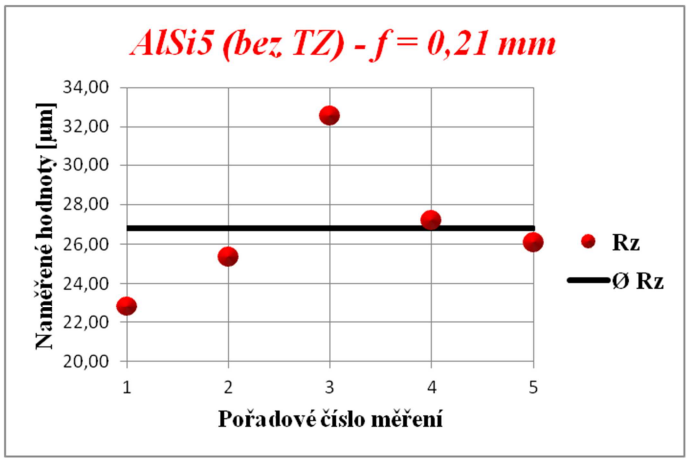


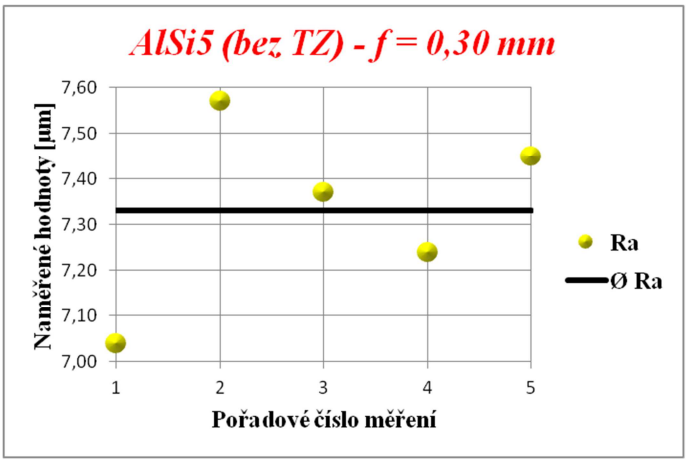


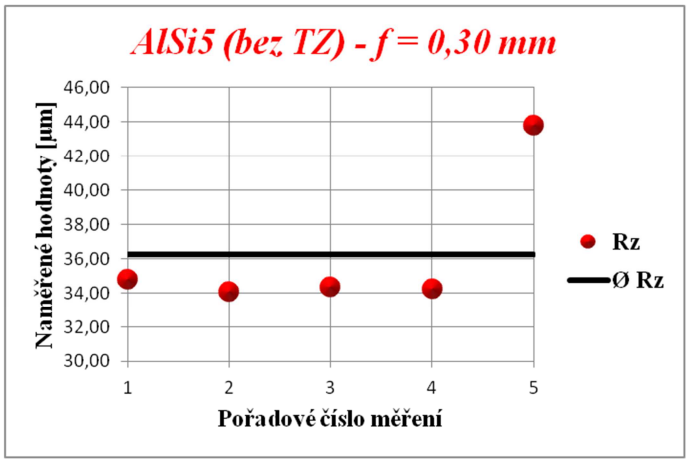

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,10 mm
Naměřené hodnoty [µm]
2,85
2,80
2,75
2,70
2,65
2,60
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra

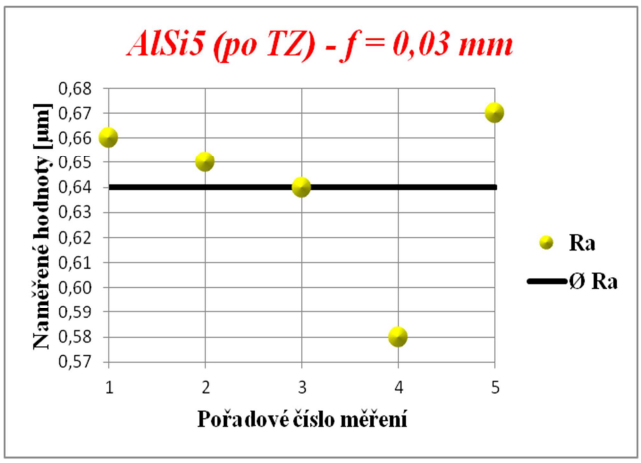

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,10 mm
Naměřené hodnoty [µm]
15,10
15,00
14,90
14,80
14,70
14,60
14,50
14,40
14,30
14,20
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz

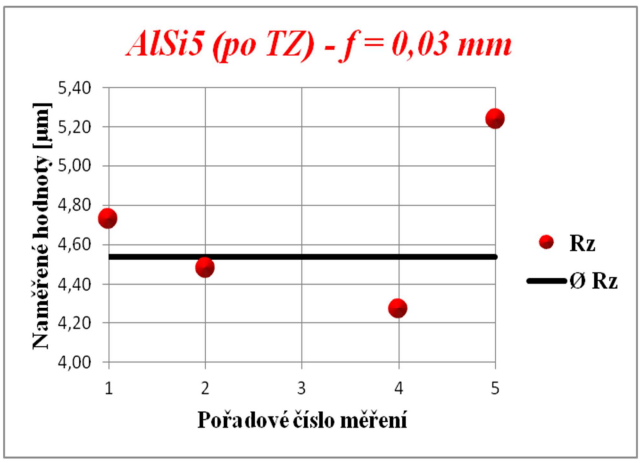

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,21 mm
Naměřené hodnoty [µm]
6,50
6,00
5,50
5,00
4,50
4,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra

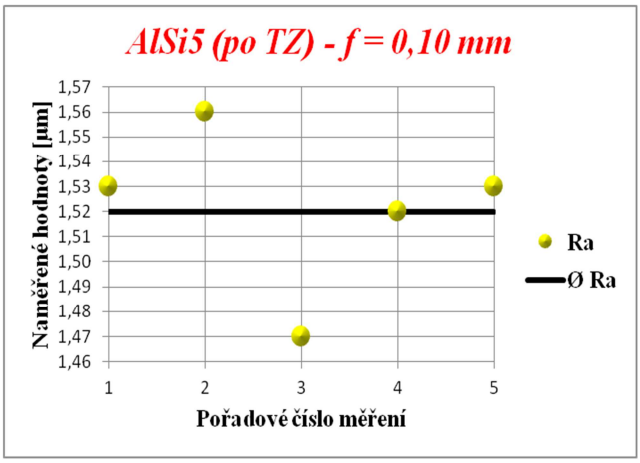

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,21 mm
Naměřené hodnoty [µm]
34,00
32,00
30,00
28,00
26,00
24,00
22,00
20,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz

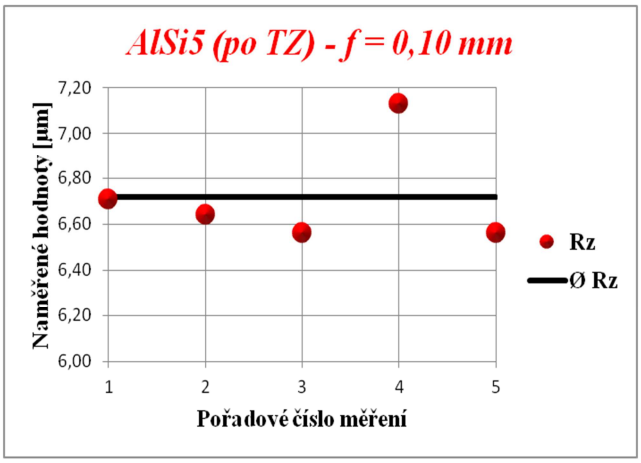

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,30 mm
Naměřené hodnoty [µm]
7,60
7,50
7,40
7,30
7,20
7,10
7,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra

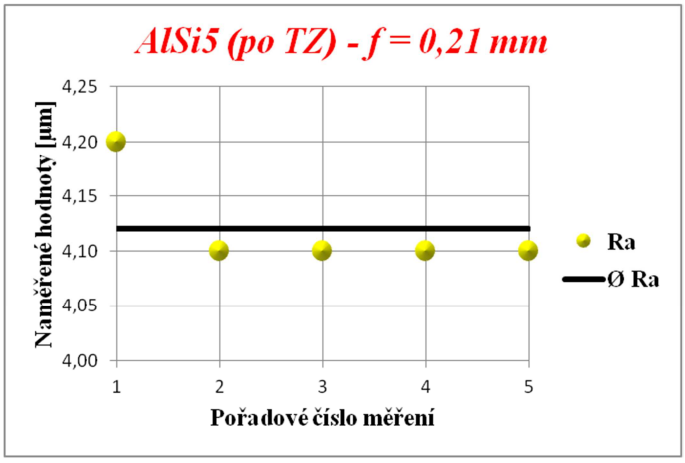

AlSi5 (bez TZ) - f = 0,30 mm
Naměřené hodnoty [µm]
46,00
44,00
42,00
40,00
38,00
36,00
34,00
32,00
30,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz

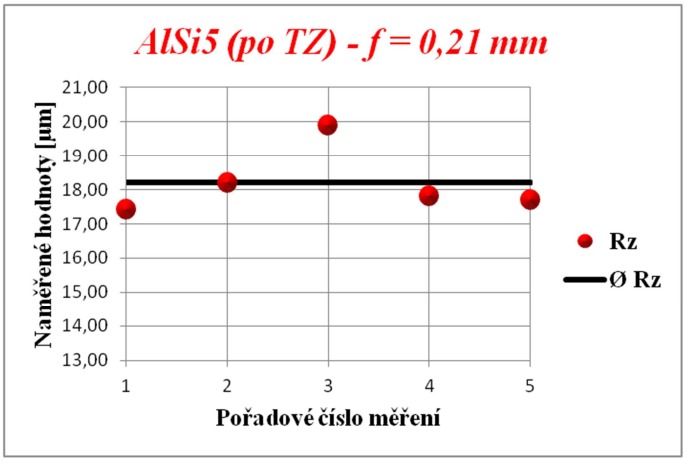

AlSi5 (po TZ) - f = 0,03 mm
Naměřené hodnoty [µm]
0,68
0,67
0,66
0,65
0,64
0,63
0,62
0,61
0,60
0,59
0,58
0,57
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra

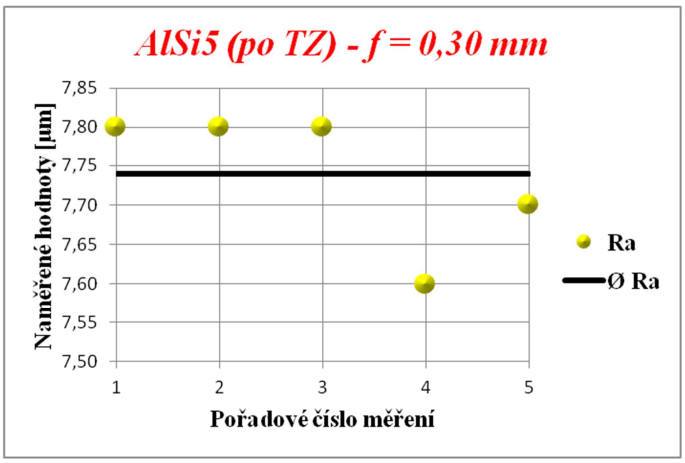

AlSi5 (po TZ) - f = 0,03 mm
Naměřené hodnoty [µm]
5,40
5,20
5,00
4,80
4,60
4,40
4,20
4,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz

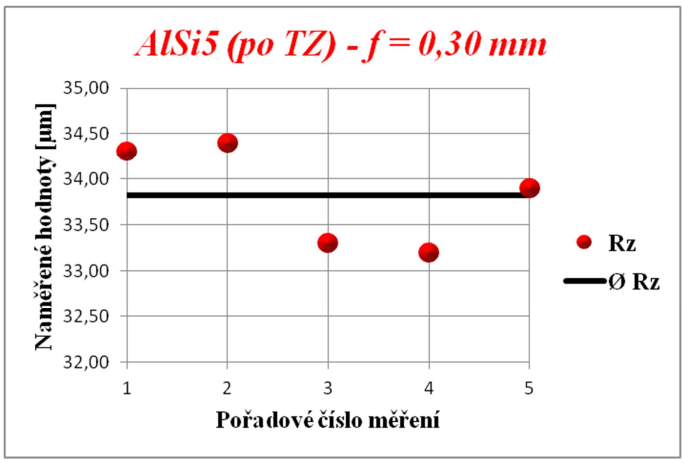

AlSi5 (po TZ) - f = 0,10 mm
Naměřené hodnoty [µm]
1,57
1,56
1,55
1,54
1,53
1,52
1,51
1,50
1,49
1,48
1,47
1,46
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra


AlSi5 (po TZ) - f = 0,10 mm
Naměřené hodnoty [µm]
7,20
7,00
6,80
6,60
6,40
6,20
6,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz


AlSi5 (po TZ) - f = 0,21 mm
Naměřené hodnoty [µm]
4,25
4,20
4,15
4,10
4,05
4,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Ra
Ø Ra


AlSi5 (po TZ) - f = 0,21 mm
Naměřené hodnoty [µm]
21,00
20,00
19,00
18,00
17,00
16,00
15,00
14,00
13,00
1
2
3
4
5
Pořadové číslo měření
Rz
Ø Rz





Graf č. 1 až 16: ***Naměřené hodnoty drsností AlSi5 bez TZ, resp. po TZ***

17. Závěr - shrnutí výsledků z měření

Z naměřených hodnot vyplývá, že se zvětšující se hodnotou posuvu roste drsnost obrobené plochy obrobku. Kladný vliv na jakost drsnosti má vytvrzení odlitku.

Mimořádný výkyv naměřené hodnoty, který je patrný např. u naměřené drsnosti povrchu obrobku, tj. u posuvu – 0,21 mm – AlSi5 bez tepelného zpracování, je nejspíše způsoben vznikem nárůstku na břitu VBD při procesu soustružení. Vlivem nárůstku byly na povrchu obrobku patrné stopy – rýhy, které výsledek ovlivnily.

18. Seznam použitých zdrojů (nutno dodržet normu ČSN ISO 690)

[9] Michna, Š. et al. (2005). *Encyklopedie hliníku.* Prešov: Adin. s. 700. ISBN 80-89041-88-4.

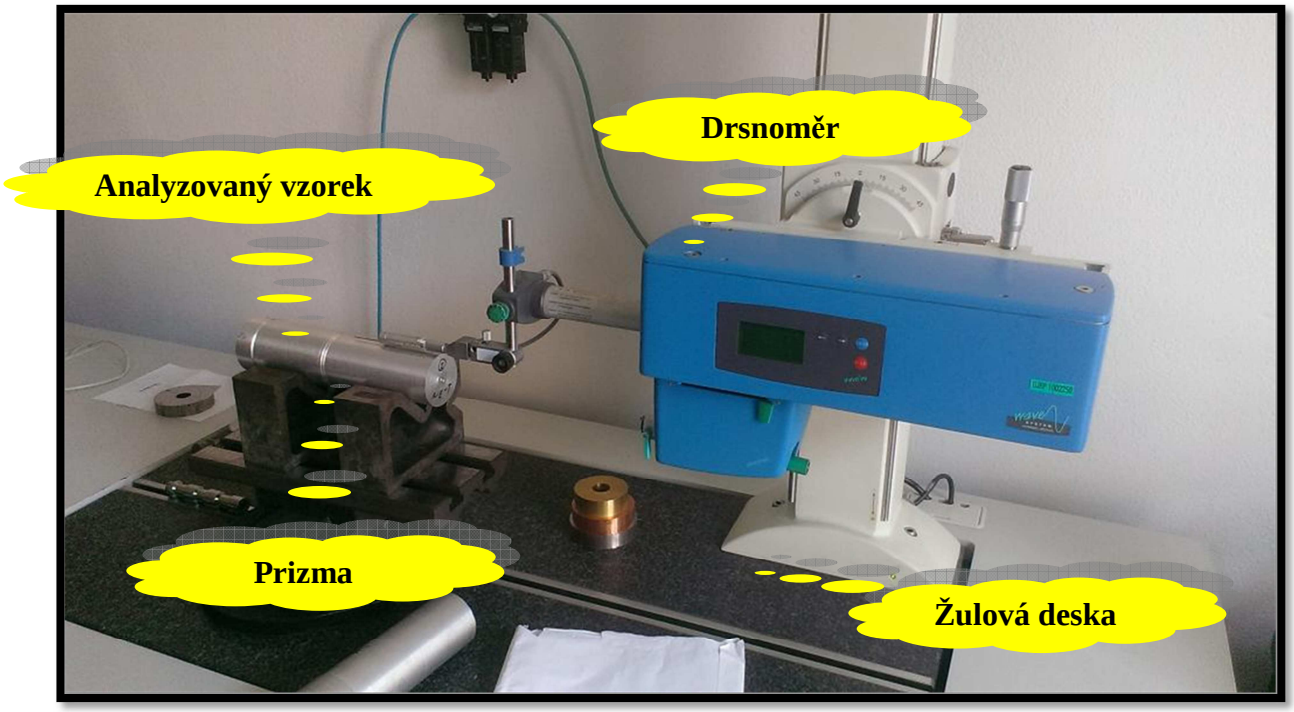
[10] Mondolfo, L., F. (1943). *Metallography of Aluminum Alloys*. Chicago. s. 351.

[11] Nová, I. (2007). *Teorie slévání* (II. díl). Liberec: TUL. s. 169. ISBN 978-80-7372-185-5.

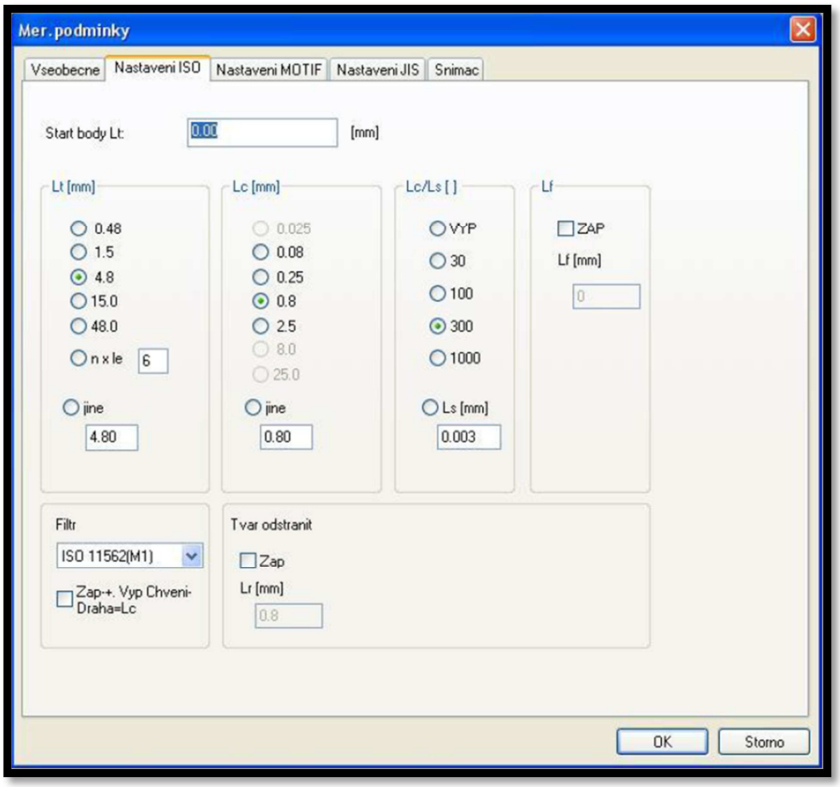
[12] Machek, V., Sodomka, J. *Vlastnosti kovových materiálů* (II. část). (2007). Praha: ČVUT. s. 141. ISBN 978-80-01-03686-0.

[13] Mádl, J. (1988). *Experimentální metody v teorii obrábění*. Praha: ČVUT, s. 153.

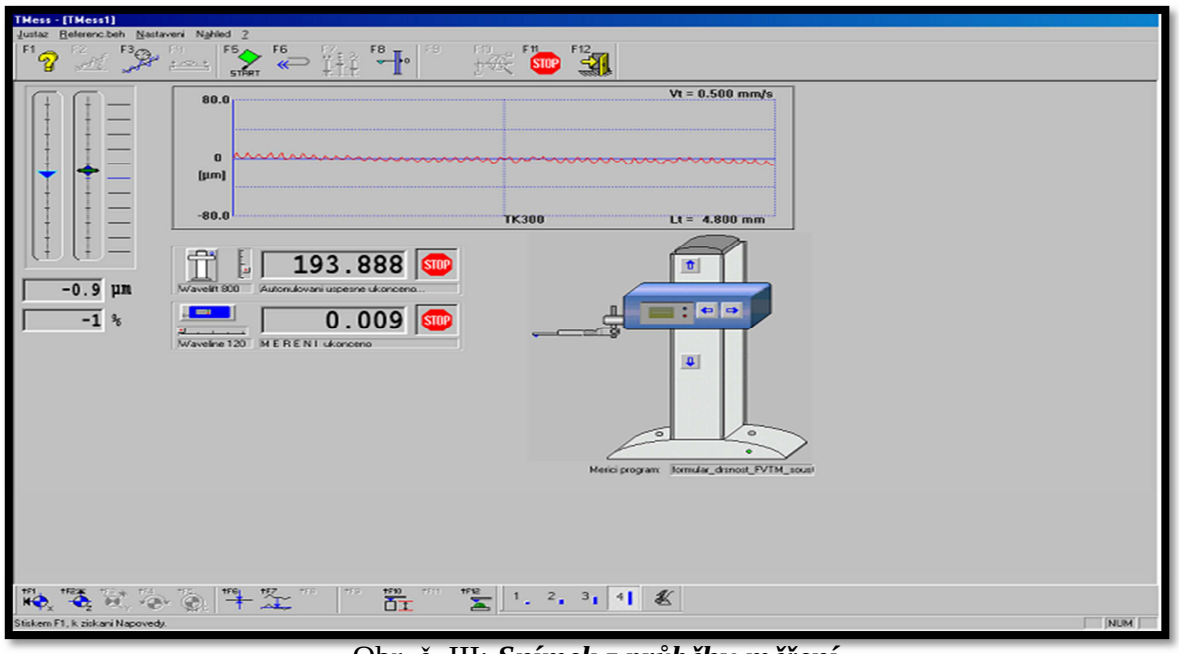
19. Seznam příloh (např. grafy, schémata nebo fotografie z měření)



Obr. č. I: ***Drsnoměr – Hommel Tester T8000***



Obr. č. II: ***Nastavení parametrů v softwaru drsnoměru***



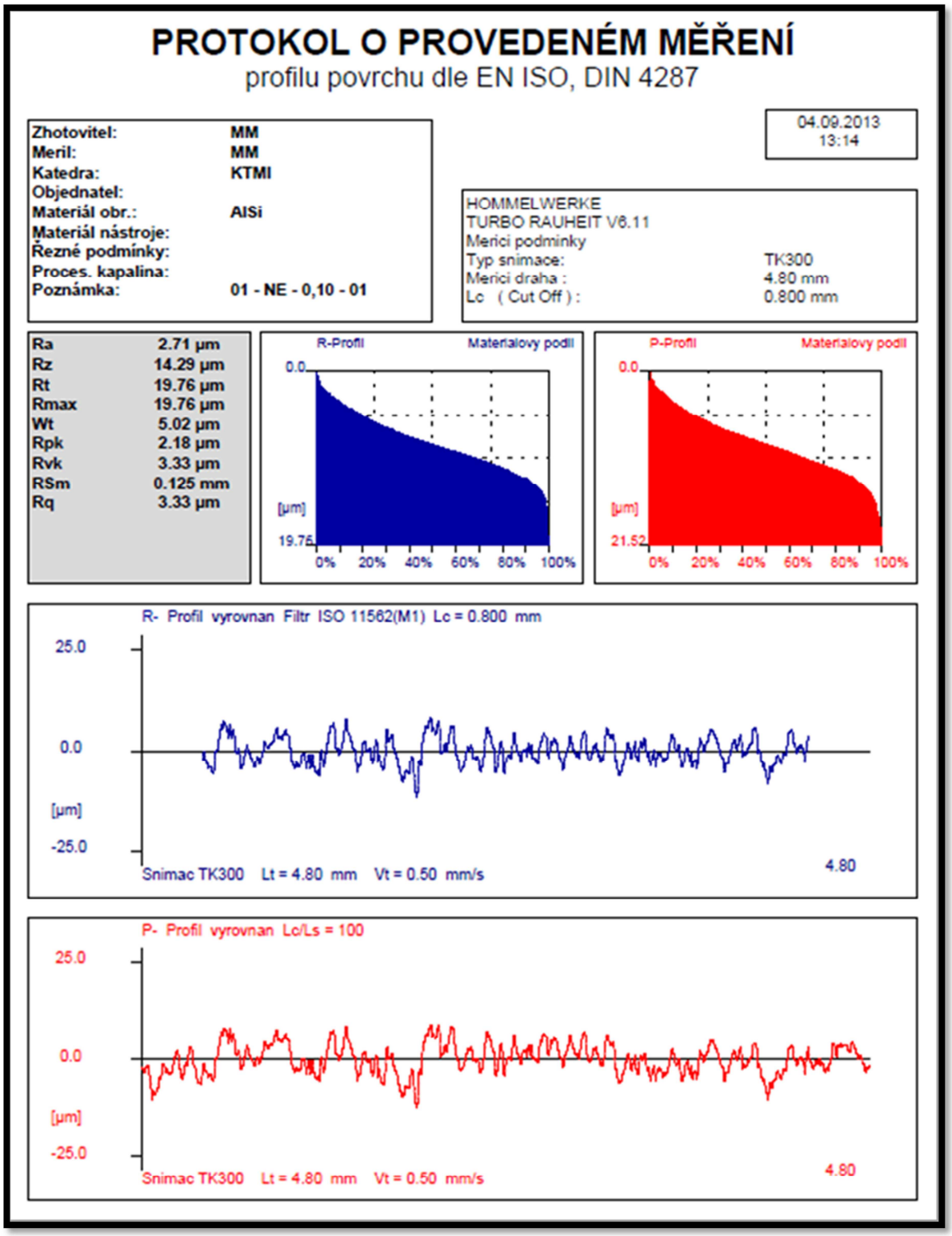
Obr. č. III: ***Snímek z průběhu měření***

Tab. č. I a II: ***Prázdná tabulka pro zapsání naměřených hodnot***

Výsledky z měření	AlSi5 (bez TZ)							
	f = 0,03 mm		f = 0,10 mm		f = 0,21 mm		f = 0,30 mm	
Ø								

Výsledky z měření	AlSi5 (po TZ)							
	f = 0,03 mm		f = 0,10 mm		f = 0,21 mm		f = 0,30 mm	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz

Ø											



Obr. č. IV: ***Ukázka z jednoho konkrétního měření***