



Metalurgie a mechanické hodnoty odlitků ze slitin mědi

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Luboš Raur, DiS.**
Vedoucí práce: prof. Ing. Iva Nová, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš Raur, DiS.**
Osobní číslo: **S14000362**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Metalurgie a mechanické hodnoty odlitků ze slitin mědi**
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte metalurgii slitin mědi pro výrobu odlitků, dále ošetření taveniny slitin mědi a způsoby jejich odléváním.
2. Prostudujte základní metalurgické vlivy na kvalitu odlitků ze slitin mědi.
3. Na základě provedených experimentů přípravy tavenin vybraných slitin mědi proveďte rozbor metalurgických kroků při výrobě slitin mědi a vyhodnocení mechanických vlastností vybraných slitin mědi.
4. Zhodnoťte získané poznatky a formulujte dílčí závěry.

Rozsah grafických prací: **grafy, tabulky**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- [1] GRÍGEROVÁ, T a kol. *Zliévárnostvo neželezných kovů*. 1. vydání. Praha/Bratislava STNL, 1988.
- [2] PÍSEK, F. a kol. *Nauka o materiálu I/3 Neželezné kovy*. 2. upravené vydání.
- [3] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných kovů*. [Skrita]. Akademické nakladatelství Cern, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- [4] SEDLÁČEK, V. *Neželezné kovy*. 1. vydání. Praha: STNL, 1979.
- [5] MICHNA, Š. a kolektiv, *Encyklopedie hliníku*, Vydavatelství: Adin, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Iva Nová, CSc.**
Katedra strojírenské technologie
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Machuta, Ph.D.**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. března 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Děkuji tímto mojí vedoucí diplomové práce prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za její věcné připomínky, odborné rady a trpělivost při naší spolupráci. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Machutovi, Ph.D za pomoc při realizaci experimentů.

Také děkuji Ing. Věře Janáčkové a kolektivu firmy Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. za vstřícný přístup a ochotu.

Zvláštní poděkování věnuji své rodině za trpělivou podporu během celého mého studia.

Bc. Luboš Raur DiS.

„Diplomová práce byla vytvořena s podporou řešení grantového projektu SGS 21 122 „

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá změnou metalurgie a následnými možnými změnami mechanických hodnot po tepelném zpracování u odlitků ze slitiny CuAl10Fe5Ni5, která byla odlévána do forem z formovací směsi pojené bentonitem. V první části je historie, výroba a rozdělení slitin mědi. Druhá část je literární rešerše dostupných poznatků o slitinách mědi. Surovinové zdroje, způsoby hutní výroby mědi a jejich předslitin. Popis jednotlivých surovin a chemické reakce při hutních procesech podle druhu použité rudy. Třetí část pojednává o provedených experimentech: příprava a kontrola formovací směsi, příprava tekutého kovu, tepelné zpracování, obrazová analýza, mechanické hodnoty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hliníková bronz, legování, tepelné zpracování, mechanické vlastnosti, mikrostruktury, makrostruktury

ABSTRACT

This Diploma thesis deals with metallurgy change and follow-up possible alterations of mechanical properties after processing casts created from CuAl10Fe5Ni5 alloy. This alloy was cast into forms bonded by bentonium. The first deals with history, production and different alloy types. The second is literal research of available information about copper alloys, sources of raw materials, different types of metallurgical fabrication of copper and its precursors, description of elemental materials and chemical reactions during metallurgical processes in accordance with chosen type of ore. Finally, the third part describes my own experiments as: preparation and inspection of molding mixture, preparation of liquid metal, and image analysis and description of mechanical properties.

KEYWORDS

Aluminium bronze, alloying, heat treatment, mechanical properties, microstructures, macrostructures

OBSAH

1.	ÚVOD.....	8
1.1.	Historie společnosti.....	10
2.	TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE	11
2.1.	Měď a její slitiny	11
2.2.	Naleziště surovin a výroba mědi	13
2.3.	Rozdělení slitin mědi.....	18
2.3.1.	Tvářené bronzy a mosazi.....	18
2.3.2.	Slévárenské mosazi a bronzy	19
2.4.	Tavení slitin mědi.....	25
2.5.	Plyny ve slitinách mědi, oxidační a redukční vedení tavby ...	25
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE	28
3.1.	Výroba zkušebních vzorků	28
3.2.	Tepelné zpracování skupiny vzorků	35
3.3.	Příprava vzorků pro obrazovou analýzu.....	38
3.4.	Makrostruktura	45
3.5.	Výsledky zkoušek pevnosti v tahu	47
4.	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	52
5.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY.....	54
6.	SEZNAM PŘÍLOH	56

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LLG	- litina s lupínkovým grafitem	
LKG	- litina s kuličkovým grafitem	
Mt	- milion tun	
ppm	- částic na milion (parts per million)	
S/m	- konduktivita	siemens/metr
TZ	- tepelné zpracování	

1. ÚVOD

Výroba odlitků má i přes velký rozvoj plastů stále svoje místo v řadě průmyslových odvětví. Odlitky se vyrábějí z tradičních slitin (ocel, litina, slitiny hliníku, mědi, hořčíku, zinku a dalších). Odlitky ze slitin mědi mají stále svoje místo ve výrobě. Slitiny mědi se nejčastěji odlévají do pískových forem, méně obvyklé je odlévání těchto slitin do forem kovových.

Měď je také nejdůležitějším nezelezným kovem v historii. Nejstarší doklady o jejím zpracování pochází z oblasti předního východu z období přibližně 7000 let př. n. l. Znalost zpracování a využívání mědi se z této oblasti postupně rozšířila po celé Evropě. Pro další vývoj byl rovněž důležitý poznatek, že sléváním mědi s jinými kovy vzniká bronz s výjimkou zinku kdy slitina nese název mosaz. V obecném slova smyslu je bronz považována za slitinu mědi a cínu. Podle této slitiny bylo pojmenováno celé historické období. V Čechách trvala doba bronzová přibližně 1500 let. Bronzy jsou od této doby využívány až do současnosti. Bronz má oproti čisté mědi, která byla využívána v období eneolitu, mnoho technologických a dalších předností. Mezi nejdůležitější se řadí nižší teplota tání, lepší slévatelnost a také vyšší tvrdost a pevnost. Výrobu bronzu umožnil rozvoj hutnictví a hornictví a pro úspěšné dokončení výroby bylo nutné zvládnout mnoho specializovaných dovedností. Slitina mědi a cínu byla masově využívána k výrobě zbraní, nástrojů, ozdob a dalších artefaktů. Toto období mělo v různých částech světa různé trvání.

V současné době je v České republice evidováno cca 30 významných sléváren mědi [24]. K této skupině sléváren se řadí i Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. (dále společnost). Tato slévárna mimo slitin mědi odlévá i další kovy (slitiny hliníku a litinu s lupínkovým i kuličkovým grafitem). Při výrobě odlitků ze slitin mědi se používají mosazi i bronzy. Hlavním sortimentem jsou tělesa ventilů, koule do kulových ventilů různých průměrů, náhradní díly pro šnekové převodovky, elektrovedné dílce pro trakce a další drobný sortiment.

Také ve světovém měříku výroba odlitků ze slitin mědi je významná a neustále se zvyšuje, jak dokládá tabulka 1.1. V České republice je také vidět významné zvýšení výroby odlitků ze slitin mědi, jak dokládá tabulka 1.2.

Tab. 1.1: Přehled produkce odlitků ve světě [16][17][18][19][20][21]

Svět		LLG	LKG	temp. Litina	ocel	slitiny Cu	slitiny Al	slitiny Mg	slitiny Zn	ostatní neželezné kovy	celkem
2014	tis. tun	47 796	25 682	1 113	11 319	1 746	16 324	161	546	497	105 183
	%	45,44	24,42	1,06	10,76	1,66	15,52	0,15	0,52	0,47	
2013	tis. tun	47 822	25 058	926	11 224	1 789	15 357	176	454	526	103 230
	%	46,33	24,27	0,90	10,87	1,73	14,88	0,17	0,44	0,51	
2012	tis. tun	45 996	25 167	1 276	11 299	1 744	14 052	227	588	487	100 835
	%	45,62	24,96	1,27	11,21	1,73	13,94	0,23	0,58	0,48	
2011	tis. tun	45 870	24 783	1 381	10 343	1 799	13 197	182	506	532	98 593
	%	46,52	25,14	1,40	10,49	1,82	13,39	0,18	0,51	0,54	
2010	tis. tun	43 258	23 452		10 215	1 652	10 880	197	529	1 194	91 674
	%	47,19	25,58		11,14	1,80	11,87	0,21	0,58	1,30	
2009	tis. tun	37 616	19 940	1 040	9 033	1 379	10 231	153	473	478	80 343
	%	46,82	24,82	1,29	11,24	1,72	12,73	0,19	0,59	0,59	

Tab. 1.2: Přehled produkce odlitků v České republice [16][17][18][19][20][21]

Česká republika		LLG	LKG	temp. Litina	ocel	slitiny Cu	slitiny Al	slitiny Mg	slitiny Zn	ostatní neželezné kovy	celkem
2014	tis. tun	175,0	55,0	3,5	75,1	6,5	90,0		11,1	0,03	416,2
	%	42,05	13,21	0,84	18,04	1,56	21,62		2,67	0,01	
2013	tis. tun	169,6	48,2	8,6	76,4	6,6	87,7		10,2	1,1	408,4
	%	41,53	11,80	2,11	18,71	1,62	21,47		2,50	0,27	
2012	tis. tun	179,6	52,9	9,2	94,9	5,4	73,2		8,3	0,9	424,4
	%	42,32	12,46	2,17	22,36	1,27	17,25		1,96	0,21	
2011	tis. tun	198,1	57,9	15,6	94,0	4,8	80,1		8,6	8,6	467,7
	%	42,36	12,38	3,34	20,10	1,03	17,13		1,84	1,84	
2010	tis. tun	153,8	55,1		57,9	4,5	63,4		6,9	0,7	342,4
	%	44,92	16,09		16,91	1,31	18,52		2,02	0,20	
2009	tis. tun	138,8	40,7	1,9	52,4	0,9	34,8		1,4	0,2	270,9
	%	51,24	15,02	0,70	19,34	0,33	12,85		0,52	0,07	

Tabulky 1.1 a 1.2 ukazují produkce odlitků (v tis.) z jednotlivých odlévaných materiálů a jejich procentuální zastoupení v celkovém ročním objemu.

V poslední době se výrobou odlitků ze slitin mědi zabývají pracovníci Katedry strojírenské metalurgie, Technické univerzity v Liberci a (předmětem výzkumu výroby odlitků ze slitin mědi). Tato diplomová práce se touto problematikou rovněž zabývá.

1.1. Historie společnosti

První písemná dochovaná zmínka o zpracování železa na Ransku pochází již z roku 1480. V roce 1690 přešla huť do vlastnictví Ferdinanda z Ditrichštejna. Spotřeba železa stále narůstala. Docházelo k rozvoji manufaktur. Skokový vzestup hutní a slévárenské výroby nastal v 19. století. Ditrichštejnové byli velmi pokrokoví podnikatelé. Huť a slévárna ve Starém Ransku patřila v polovině 19. století k významným kapacitám. V roce 1855 zaměstnávala 1500 pracovníků, z toho více než 300 bylo slévačů. Jako důkaz toho, že zdejší výrobky byly opravdu kvalitní, svědčí různá ocenění. Příkladem může být zlatá medaile z živnostenské výstavy v Praze z roku 1855. Bohužel ve druhé polovině 19. století se začal projevovat nedostatek dřeva na výrobu dřevěného uhlí. Vyčerpání železné rudy na Starém Ransku a používání parních strojů způsobilo další navýšení nákladů. Nebylo zde možné zavést moderní způsoby metalurgických procesů (z důvodu velkých dopravních vzdáleností nebylo možné huť modernizovat, aby pracovala s efektivnějšími minerálními palivy a koksem) a Ditrichštejnovy podniky v roce 1882 zanikly.

V roce 1885 v regionu založil firmu na výrobu stacionárních motorů Jan Pujman. Po první světové válce se ustálil název firmy: „Jan Pujman továrna hospodářských strojů a slévárna Nové Ransko“. V meziválečném období firma začala vyrábět mobilní stroje (sekačky, mlátičky a traktory). Firma byla po druhé světové válce znárodněna a stala se součástí národního podniku Agrostroj a od roku 1949 součástí Kovodělných závodů Chotěboř. Na přelomu 50. a 60. let 20. století došlo k rekonstrukci budovy na výrobu odlitků z šedé litiny, bylo zavedeno strojní formování, později výroba odlitků ze slitin hliníku a mědi. V říjnu roku 1991 vznikla společnost s ručením omezeným a v listopadu 1992, po dokončení privatizačního projektu a podpisu Kupní smlouvy, se společnost stala samostatným právním subjektem.

V současné době má společnost cca 247 zaměstnanců a roční obrat 280 mil. Kč, vyrábí kusové až středně sériové, technologicky náročné zakázky z grafitických litin, ze slitin hliníku a mědi. Export se dlouhodobě pohybuje mezi 40 a 50 %. Provozy společnosti se průběžně modernizují, největší, ze současných investic, je nová slévárna neželezných kovů, která bude zcela elektronicky řízena. [22]

2. TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

2.1. Měď a její slitiny

V historii má měď a slitiny mědi svoje nesmazatelné místo. Po mladší době kamenné (8000 až 5000 let př. n. letopočtem) [1] započala doba měděná (český název). Dalším názvem této doby je Eneolit (z latinského aeneus – měděný) [2]. Na území České Republiky se datuje doba eneolitu mezi roky 4400 až 2000 př. n. l. [3]. Na tuto dobu navazuje pozvolna doba bronzová, která má rozdílný začátek v jednotlivých částech světa. Doba bronzová začíná na předním východě (kolem roku 3300 př. n. l.), dále pokračuje v Evropě (kolem roku 2300 př. n. l.) a nakonec se objevuje v Číně (cca 2000 př. n. l.). Pro střední Evropu je toto období datované v rozmezí let 2300 až 800 let př. n. l.

Po době bronzové následuje doba železná, která na některých místech předčila i dobu bronzovou. Například pro oblast Mezopotámie (dnešní Írán a Irák) se datuje počátek doby železné kolem roku 3000 př. n. l. Dále postupuje kolem oblasti Egejského moře (kolem roku 2000 př. n. l.) až do oblasti Severní Evropy [4].

Měď se v periodické soustavě prvků nachází v 11 skupině, 4. periodě, její atomové číslo je 29. Je to přechodný kov, který krystalizuje v kubické plošně centrované soustavě. Na povrchu mědi se vytváří vrstva zásaditých uhličitánů typicky zelené barvy. Také se můžeme setkat s lidovým názvem měděnka. Tento povrch se vytváří vlivem vlhkosti vzduchu. V tab. 2.1 jsou uvedeny fyzikální a technologické vlastnosti mědi.

Měď je chemický prvek kovově červené barvy, měkký, tažný a houževnatý kov. Při kontaktu s vlhkým vzduchem, dochází na jejím povrchu k pokrývání vrstvou zásaditých uhličitánů. Pro tyto uhličitany je typická zelená barva. K přímému slučování dochází mezi mědí a halogeny, sírou, tellurem, kyslíkem a selenem, s dalšími prvky se slučuje nepřímo.

Tab. 2.1: Fyzikální a technologické vlastnosti mědi [7] [23]

Atomové vlastnosti		
Rel. at. hmotnost	63,546	
Atomový poloměr	128	pm
Kovalentní poloměr	132	pm
Van der Waalsův poloměr	140	pm
Elektronová konfigurace	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	
Elektronů v hladinách	2, 8, 18, 1	
Oxidační číslo	I, II, III, IV	
Fyzikální vlastnosti		
Skupenství	Pevné	
Krystalová struktura	Krychlová, plošně centrovaná	
Tlak nasycené páry	100 Pa při 1 850 K	
Magnetické chování	Diamagnetický	
Hustota ρ	8 940	kg/m ³
Teplota tání	1 083 (1 357)	°C (K)
Teplota varu	2 562 (2 835)	°C (K)
Molární objem	7,1 · 10 ⁻⁶	m ³ /mol
Rychlost zvuku	3 810	m/s
Měrná tepelná kapacita	0,385	kJ/kg·K
Délková roztažnost	16,4 · 10 ⁻⁶	K ⁻¹
Měrná tepelná vodivost	390	W/m·K
Měrný elektrický odpor	16,78	n· Ω ·m
Elektrická vodivost	58,108 · 10 ⁶	S/m
Konduktivita	58	MS/m
Termodynamické vlastnosti		
Skupenské teplo tání	13	kJ/mol
Skupenské teplo varu	307	kJ/mol
Mechanické vlastnosti		
Mez kluzu	60	MPa
Mez pevnosti	220	MPa
Tažnost	50	%
Kontrakce	70	%
Modul pružnosti v tahu	130 000	MPa
Tvrdoost	50	HBW
Technologické vlastnosti		
Tvářitelnost za studena	Velmi dobrá	
Tvářitelnost za tepla	Velmi dobrá	
Slévateľnost	Obtížná	
Svařitelnost	Dobrá	
Pájitelnost	Velmi dobrá	
Obrobitelnost	Dobrá	

2.2. Naleziště surovin a výroba mědi

Světové zásoby mědi jsou odhadovány na 680 Mt. Největší naleziště jsou v Chile, Číně, Peru, USA, Austrálii a Rusku. V Evropě jsou největší naleziště v Polsku, Bulharsku a Švédsku [5]

Na území České republiky jsou zaznamenána 4 netěžená ložiska (Křižanovice, Kutná Hora, Zlaté Hory – Hornické skály a Zlaté Hory – východ). V ČR byla těžba měděných rud ukončena v roce 1990.

Ryzí měď se nejčastěji v přírodě vyskytuje v nerostech. Zemská kůra obsahuje průměrně 60 ppm mědi. Hlavním zdrojem mědi jsou různé nerosty, kterých je známo přes 600. Měděné rudy se většinou vyskytují v podobě oxidů, sulfidů, uhličitánů a chloridů.

Oxidy – azurit ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), kuprit (Cu_2O), chryzokol ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), malachit ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), tenorit (CuO).

Sulfidy – chalkopyrit (CuFeS_2), covellin (CuS), bornit (Cu_5FeS_4), chalkosin (Cu_2S) a burnonit (CuPbSbS_3).

Mezi další minerály se řadí – *tetraedrit* ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), *cubanit* (CuFe_2S_3), *enargit* (Cu_3AsS_4)[5],[6].

Na Obr. 2-1 jsou uvedeny minerály pro výrobu mědi (kuprit - naleziště Kazachstán, bornit – naleziště Itálie, tetraedrit – naleziště slovensko)



Obr. 2-1: Ukázka nerostů pro výrobu mědi (kuprit, bornit, tetraedrit [9][10][11])

V současné době se ve světě uplatňuje několik způsobů výroby mědi. Technologie bývají obdobné, ale liší se většinou konstrukčním provedením, nebo jsou přizpůsobeny místním podmínkám (viz. postup TORCO).

Pyrometalurgická výroba - průmyslová výroba surové mědi z bohatých sulfidických rud se provádí pyrometalurgickým způsobem, který spočívá v oxidačním pražení sulfidových rud, při němž se sulfidy mědi přemění na oxidy. Další možností je pomocí sulfatačního pražení převést sulfid na sulfát, ze kterého se měď vylučuje cementací pomocí železa.

Pražení se provádí nejčastěji v etážových nebo fluidních pecích při teplotách okolo 800°C. Pražné plyny obsahují oxid siřičitý a slouží k výrobě kyseliny sírové nebo elementární síry. Typické sulfatační a oxidační reakce probíhající při pražení sulfidických měděných rud:



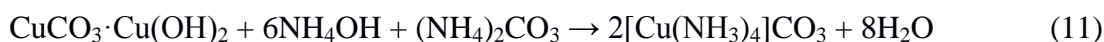
Praželec se poté taví s přísadou struskotvorných látek v různých typech nístějových, šachtových nebo elektrických pecí při teplotě 1400°C na tzv. kamínek (*měděný lech*), který se dmýcháním vzduchu zpracovává v konvertorech na surovou měď. Při tavení reagují oxidy mědi se sulfidy železa. Měď ve formě Cu_2S přechází do kamínku, železo jako FeO přechází do strusky:



Roztavený kamínek s vysokým obsahem sulfidu měďného se oxiduje pomocí vzduchu nebo kyslíku v různých typech konvertorů. V konvertoru probíhají postupně následující reakce: [5]

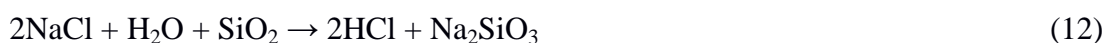


Hydrometalurgická výroba – chudé měděné rudy se obvykle zpracovávají hydrometalurgickými procesy, které spočívají v loužení rudy kyselinou sírovou nebo roztokem síranu železitého. Měď přejde do výluhu jako síran měďnatý, ten se zpracovává elektrolyticky nebo cementací železem. Měděné rudy s vyšším obsahem železa a vápníku se zpracovávají amoniakálním loužením pomocí roztoku hydroxidu a uhličitanu amonného za vzniku uhličitanu tetraamminměďnatého. Z amoniakálních výluhů se amoniak odstraní vyvařováním za sníženého tlaku při teplotě 100 až 135°C, měď se získává jako surový kov nebo ve formě oxidů. Při kyselém a alkalickém loužení probíhají následující reakce: [5]



Metoda Treatment of Refractory Copper Ores (TORCO) - je metoda zpracování mleté měděné rudy. Tímto postupem se zpracovávají měděné oxidické rudy silikátového typu, které se vyskytují v Africe (Zambie). Tyto rudy nelze obohacovat flotací a hydrometalurgické způsoby byly v daných podmínkách nevhodné.

Jemně rozemletý materiál se předehřívá ve vířivé vrstvě na 700 až 800°C. Do předehřátého materiálu se přidává 0,15 až 0,5 % NaCl a 2% uhlí, přičemž proběhnou tyto hlavní reakce:



Plynný $(\text{CuCl})_3$ se redukuje vodíkem, který vzniká v reaktoru reakcí mezi vodní párou a uhlíkem:



Takto vyredukovaná měď se pak oddělí flotací a přetaví v nístějové peci. Celková výtěžnost je 87,5%, při průměrném obsahu 3,2% Cu v rudě. [6]

Získávání rudy rafinací - vyrobená surová černá měď dosahuje čistoty 94 až 97 % a musí se rafinovat. Rafinace surové mědi se provádí přetavováním v nístějové peci za přídavku dřevěného uhlí. Vzniklá rafinovaná hutní měď má čistotu 99,7 %. Dokonalejší rafinace mědi se dosahuje pomocí elektrolýzy v síranovém prostředí. Elektrolytická rafinovaná měď dosahuje čistoty až 99,95 %. Odpadní anodové kaly z elektrolytické rafinace mědi jsou ceněným zdrojem pro výrobu mnohých dalších prvků např. selenu, telluru, ruthenia, palladia, stříbra, rhenia, osmia, iridia nebo zlata. [5]

Metoda biologické loužení - přibližně 20 % (1,7 Mt) veškeré vyrobené mědi se od osmdesátých let minulého století získává biologickým loužením (*bioleaching, bakterie v kyselém roztoku*) sulfidických rud covellinu a chalkosinu. Na rudu se působí vyluhovacím roztokem s obsahem acidofilních chemolitotrofních bakterií rodu *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Sulfolobus*, *Sulfobacillus* a dalších. Chemolitotrofní bakterie získávají energii oxidací anorganických sloučenin.

Principem biologického loužení je nepřímá oxidace nerozpustných sulfidů na rozpustné sírany. Jako oxidační činidlo slouží železité soli vzniklé činností mikroorganismů ze solí železnatých. Reakce jsou obdobné jako při kyselém loužení. Z elementární síry vyloučené při oxidačních reakcích vzniká působením bakterií kyselina sírová, která se spolu se vzdušným kyslíkem účastní oxidačního procesu:



Biologické loužení mědi se provádí na hromadách, v tancích, metodou in-situ a využívá se i ke zpracování odvalů po bývalé hornické těžbě. Produktem je roztok síranu měďnatého, který se zpracovává elektrolyticky. Metoda biologické oxidace sulfidických rud mědi se využívá v řadě těžebních a úpravárenských závodů v Chile (*LoAguirre, Zaldívar, Cerro Colorado*), USA (*EquatorialTonopah, Morenci*) a Austrálii (*Girilambone, GunpowderMammoth Mine*). [5]

Pyritové tavení - je to oxidační tavení, kterého se používá ke zpracování jen bohatých kusových rud, obsahujících nejméně 2% mědi. Ruda musí obsahovat alespoň 25% pyritu a určité množství křemene, rovnoměrně rozloženého v rudě. Zdrojem tepla je spalování pyritu na FeO a SiO₂. Vzniklý kysličník železnatý přechází do strusky jako 2FeO·SiO₂. Pro celý pochod je důležitá reakce, která probíhá v oblasti výfúčen



Při pyritovém tavení se dosahuje odsíření nad 80%. Do vsázky se přivádějí 2 až 4% koksu. Tento pochod vyžaduje přesné dodržování poměru mezi vzduchu dmýchaného do pece a pyritu a křemene ve vsázce. Strusky z pyritového tavení jsou těžké, protože mají velký obsah FeO. Obsahují 32%SiO₂, 50% FeO, 6% CaO a asi 0,2% mědi. Kamínek bývá zpravidla chudší na měď než u jiných způsobů tavení. [6]

Polopyritové tavení - používá se ke zpracování kusové rudy nebo briket s přidáním 4 až 12% koksu. Podle množství pyritu a koksu ve vsázce se blíží k pyritovému nebo redukčnímu tavení. Pochod není ovšem tak citlivý jako pyritové tavení. Pracuje až se 100% přebytkem vzduchu. Na 1t vsázky se vhání do pece 1,5 až 2krát větší množství vzduchu než při pyritovém tavení, tj. 1 700 až 2 000 m³ na 1t vsázky. Dosahuje se 40 až 80% odsíření. Přebytek vzduchu způsobuje zvýšení teploty ve vrchních pásmech pece, a proto má pec pro polopyritové tavení vyšší chladicí skříně a zděnou sazebnu i odtahové potrubí. Strusky obsahují 30 až 40% SiO₂, 15 až 45% FeO, až 30% CaO a asi 0,2% mědi. [6]

Tavení redukční - tento způsob se označuje jako redukční tavení, pro velký obsah (12 až 15%) koksu ve vsázce. Zdrojem tepla je tedy hoření koksu. Při tomto pochodu je poměrně malé odsíření (30 až 40%), avšak protože se část síry již odstraní při aglomeraci, získávají se bohatší kamínky (s 35 až 45% Cu). Mezi kysličníky, sírany a sirníky aglomerátu probíhá řada reakcí, při nichž vznikají kamínek a struska. Strusky mají přibližně totéž složení jako v plamenné peci. [6]

2.3. Rozdělení slitin mědi

Vodivost mědi se často bere k porovnání vodivosti jiných kovů a slitin. Měď má stanovenou mezinárodní normu měrné elektrické vodivosti [IACS] 58 MS/m [konduktivita]. Měrná elektrická vodivost je značně ovlivněna čistotou mědi. Z těchto důvodů se v praxi měď dělí do čtyř základních skupin (katodová měď, kyslíkatá měď, bezkyslíkatá měď, bezkyslíkatá měď dezoxidovaná fosforem).[15]

Slitiny mědi se dělí do dvou hlavních technologických skupin. Jsou to slitiny pro tváření a pro odlévání. Tyto dvě hlavní technologické skupiny se dále rozdělují dle hlavních přísadových prvků na bronzы a mosazi.

2.3.1. Tvářené bronzы a mosazi

Tvářené bronzы cínové – jako základní skupina bronzů je cínová bronz, s obsahem 4 až 12% Sn. Obsah cínu mění barvu slitiny a také zvyšuje pevnost a tvrdost. Tažnost se zvyšuje jenom mírně. Při tváření za studena se pevnost, mez kluzu i tvrdost zvyšují. Obsah fosforu ve slitině má pozitivní vliv na pevnost a tvrdost, ale zároveň se zvyšováním jeho obsahu se snižují plastické vlastnosti. U tvářených slitin je hlavní nežádoucím prvkem olovo. Mezi pozitivní vlastnosti patří malý součinitel tření a odolnost proti korozi. Zpracovávají se hlavně za studena a vyrábí se z nich trubky, tyče, pásy, dráty (pro pružiny), ložisková pouzdra (korozní prostředí).

Tvářené bronzы hliníkové – jako další se uvádí skupina hliníkových bronzů, kde je hlavní legující prvek hliník. Mezi další legující prvky patří železo, nikl a mangan. Obsah hliníku se pohybuje v rozmezí 5 až 10%. Maximální obsah hliníku bývá 12%, při vyšším obsahu se vyskytují tvrdé a křehké fáze. Hliníkové bronzы mají vysokou pevnost (500 až 600 MPa), tvrdost a korozní odolnost v kyselinách v agresivním prostředí i za zvýšených teplot. Vyšší obsah hliníku má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti do teplot 200 až 300°C. Po překročení těchto hranic se mechanické vlastnosti rychle zhoršují. Používají se pro součástky pracující za vyšších teplot, v mořské vodě, v korozních podmínkách a součásti náchylné na opotřebení.

Tvářené bronzy berylliové – mají obsah beryllia kolem 2% a další doprovodné prvky. Tyto bronzy po vytvrzení dosahují vysoké pevnosti (1000 až 1500 Mpa), meze únavy. Také se vyznačují dobrou odolností proti chemickým vlivům. Tento materiál se používá pro značně namáhané díly (pružiny) i díly, u kterých potřebujeme vést elektrický proud.

Tvářené mosazi – hlavním legujícím prvkem je zinek. Obsah zinku (37%) určuje, zda se jedná o jednofázové (do 37% Zn) nebo dvoufázové (nad 37% Zn). Mosazi pro tváření se vyznačují dobrou pevností, tažností, tvářitelností za studena i za tepla. Tvářením za studena dochází ke zvyšování pevnosti a meze kluz, ale zároveň se snižuje tažnost. Mez kluzu je závislá na velikosti zrna, klesající velikost zrna zlepšuje mechanické vlastnosti. U jednofázových mosazí, které jsou tvářeny za tepla, je nežádoucí přísadou olovo.

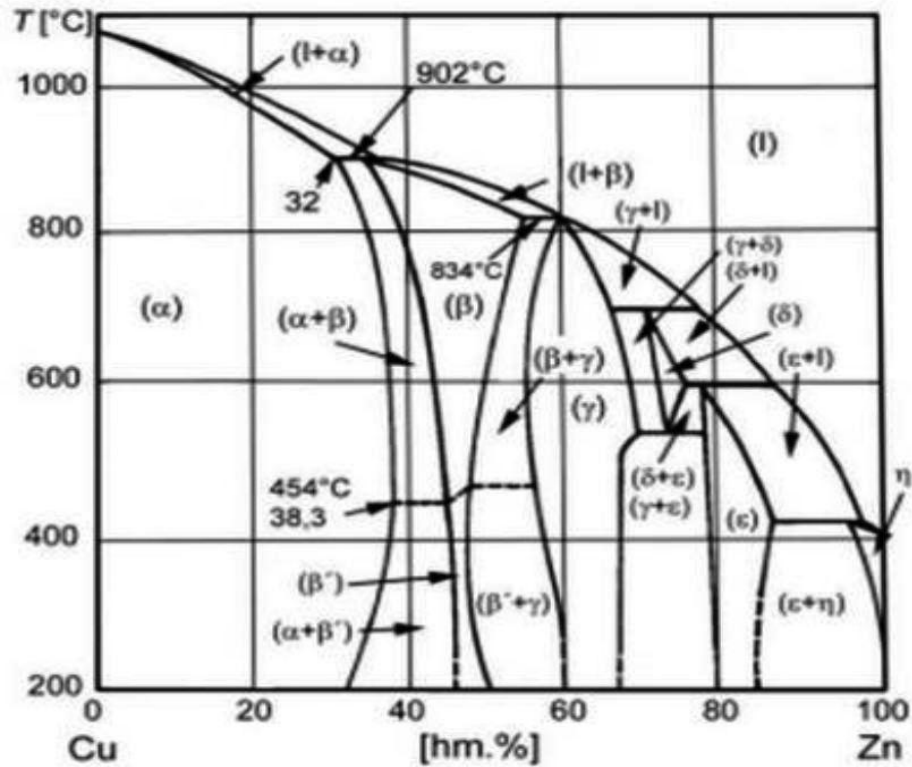
2.3.2. Slévárenské mosazi a bronzy

Vedle obvyklého rozdělení slitin mědi na bronzy a mosazi, se dále rozdělují na slitiny mědi s vysokou elektrickou vodivostí, slitiny mědi a stříbra, slitiny mědi a kadmia, slitiny mědi a chrómu, slitiny mědi a beryllia (bronzy). Dále jsou uváděny slitiny, které se dělí na mosazi (slitiny mědi a zinku) a bronzy (slitiny mědi a cínu nebo mědi a hliníku). [12][15]

Slévárenské mosazi – z mosazi je odléváno až 80% všech odlitků ze slitin mědi. Pro oblast slévárenství se používají mosazi s obsahem zinku mezi 5 až 40%. Mosazi často obsahují další vedlejší legující prvky (Si, Mn, Al, Pb, Ni atd.). Primární krystalizace u mosazí určuje jejich slévárenské vlastnosti. Mosazi mají malý teplotní interval, který jim zaručuje dobrou zabíhavost a minimalizuje segregaci. Hlavní nevýhodou u mosazí je jejich velké smrštění (1,5 až 1,9% - speciální mosazi). Mezi další nevýhody patří tvorba soustředěných dutin a staženin, sklon k praskání a náchylnost k naplyňování taveniny. Ve většině případů jsou slévárenské mosazi heterogenní, jejich obsah mědi se pohybuje v rozmezí 58 až 63%. [12][15][23]

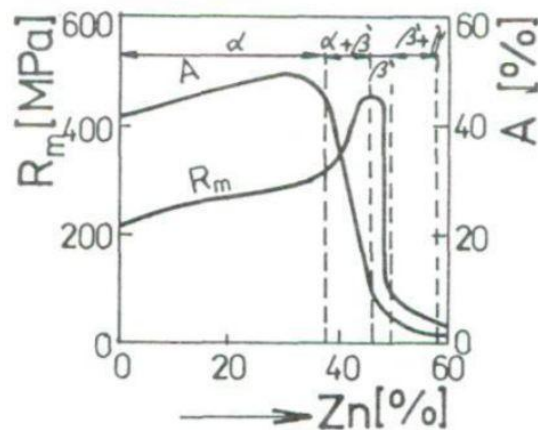
Na obr. 2-2 je binární diagram slitin mědi se zinkem, který je poměrně komplikovaný. Zobrazuje pět peritektických reakcí, které způsobují vznik intermetalické fáze β , γ , δ , ϵ , a η . Měď se zinkem tvoří substituční tuhý roztok α (Cu), s max. rozpustností 32,5% Zn při teplotě 903°C. Rozpustnost zinku roste s klesající teplotou na hodnotu 39% Zn při teplotě 456°C, při dalším poklesu teploty

nedochází ke změně rozpustnosti. Kubickou plošně centrovanou mřížku vykazují fáze α . U mosazí s obsahem zinku nad 38% vzniká β fáze s kubickou prostorově centrovanou mřížkou.



Obr. 2-2: Rovnovázný diagram mosazi (Cu – Zn) [23]

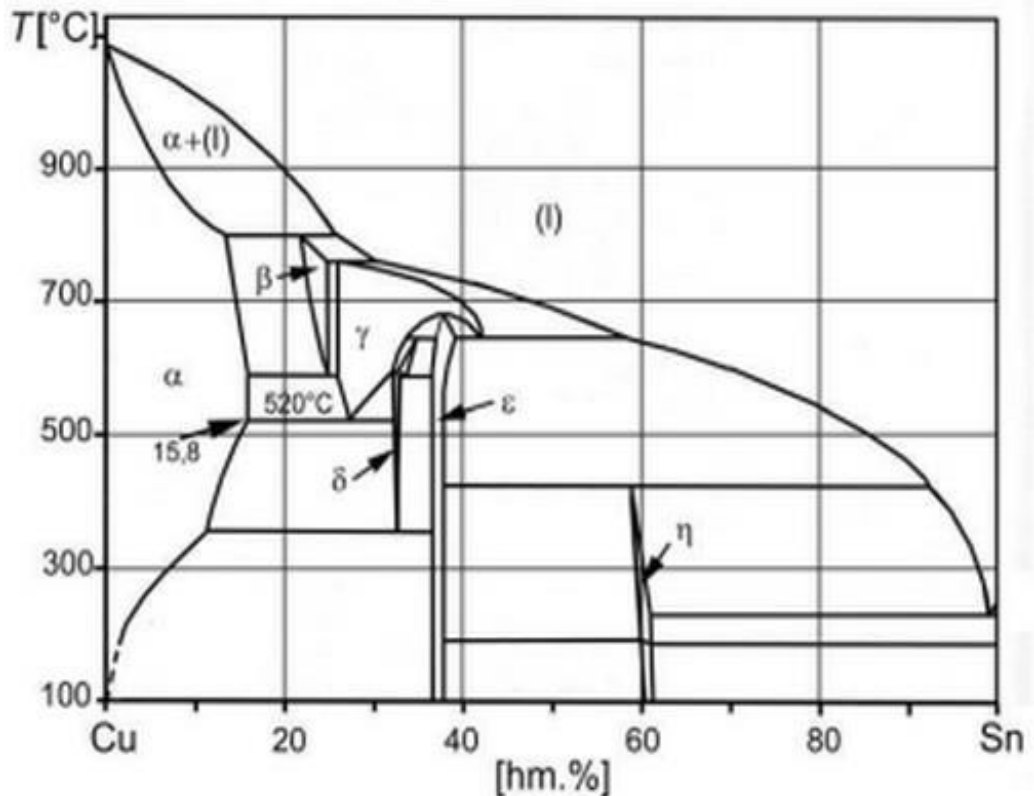
Mosazi se podle chemického složení dále dělí na dvousložkové a vícesložkové. Na Obr. 2-3 je vidět závislost rostoucího obsahu zinku v mosazi na mechanické vlastnosti. Maximální pevnosti dosáhne mosaz při obsahu zinku 46%, ale maximální tažnost je docílena při obsahu 32%.



Obr. 2-3: Vliv zinku na pevnost a tažnost mosazi v měkkém stavu [23]

Slévárenské bronzy – rozdělení u bronzů je podobné jako u mosazí (binární a vícesložkové). Pro odlévání se používají heterogenní bronzy. Nejčastější je odlévání do pískových forem, dále se používá kontinuální lití, lití do kovových forem a odstředivé lití.

Cínové bronzy – jako hlavní legující prvek je cín, který může být až do 22%. Jedná se o nejstarší používaný bronz. Jako vedlejší legující prvky se používá Ni a Pb.

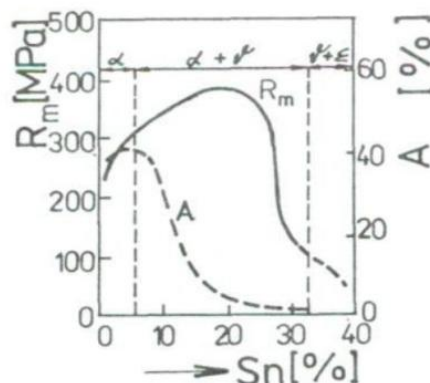


Obr. 2-4: Rovnovážný diagram (Cu – Sn)[23]

Na diagramu (Obr. 2-4) vidíme, že rozpustnost cínu je omezena tuhým roztokem α fáze. Při teplotě 520°C lze dosáhnout maximální rozpustnosti cínu 15,8%. V tuhém roztoku a s klesající teplotou rozpustnost klesá. Dobré plastické vlastnosti vykazuje α fáze, která má kubickou plošně centrovanou mřížku. Dobrými plastickými vlastnostmi disponuje také β a γ fáze, které mají kubickou prostorově centrovanou mřížku.

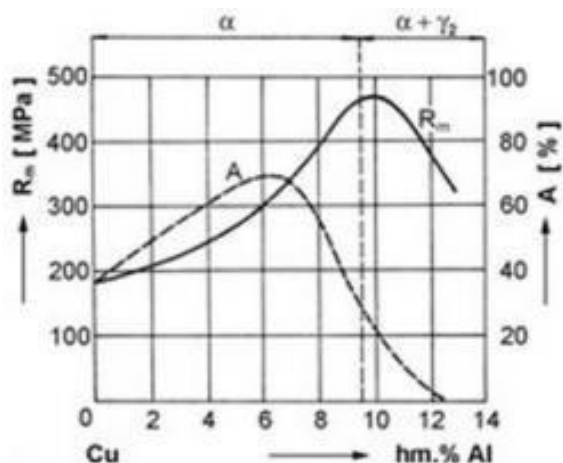
Cínové bronzy se používají na armatury, ložiska, trakční vedení. Také se používá pro výrobu zvonů, kde obsah cínu je kolem 22%. Slitina s obsahem kolem 33% Sn se nazývá zrcadlovka. Přidáním olova do slitiny, dosáhneme ještě lepších kluzných vlastností (5 až 10%). [14][23]

Na Obr. 2-5 je vidět, značný vliv obsahu cínu na mechanické vlastnosti. Nejvyšších pevností je dosaženo při cca 20% Sn, ale při tomto množství je značný pokles tažnosti.



Obr. 2-4: Vliv cínu na pevnost a tažnost cínových bronzů (Cu – Sn)[23]

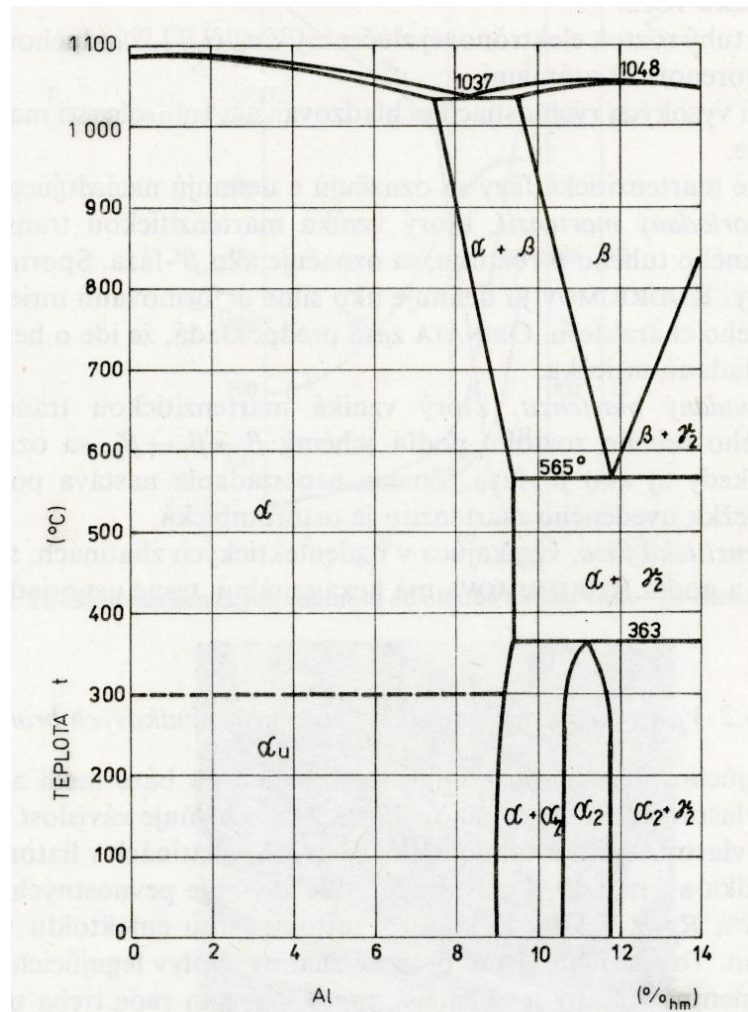
Hliníkové bronzy – hlavním legujícím prvkem je hliník. Vedlejšími legujícími prvky jsou železo, nikl a mangan. Z hlediska chemického složení se hliníkové bronzy dělí na binární nebo polykomponentní. Hliníkové bronzy mají vysoké mechanické vlastnosti, vysokou odolnost proti únavě, opotřebení, korozní odolnost a odolnost proti kavitaci. Na Obr. 2-5 je znázorněn vliv obsahu hliníku na pevnost a tažnost. [14][23]



Obr. 2-5: Vliv hliníku na pevnost a tažnost hliníkových bronzů (Cu – Al)[23]

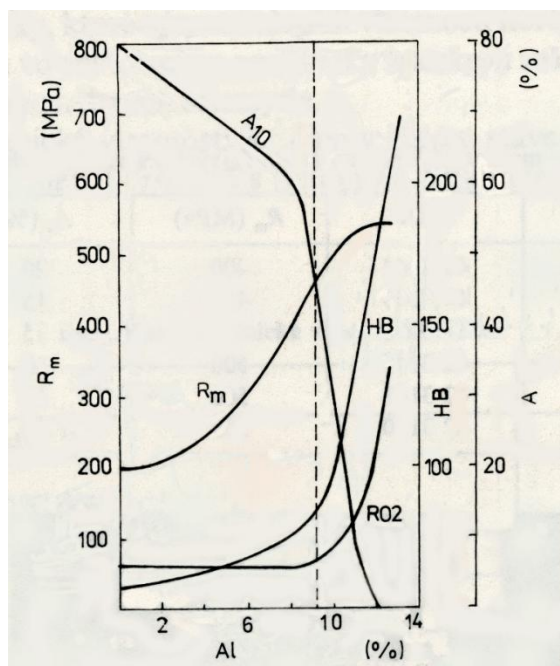
Na Obr. 2-6 je zobrazen binární diagram Cu – Al. Z diagramu je zřejmé, že hliníkové bronzy mají úzký interval mezi teplotami likvidu a solidu. Tyto slitiny jsou náchylné k tvorbě soustředěných staženin a u odlévání je třeba masivní

nálitkování. Výhodou je, že tyto slitiny mají malý sklon k tvorbě rozptýlených staženin a ředin. Při eutektické teplotě 1048°C má hliník v mědi největší rozpustnost, kdy se jeho hodnoty pohybují kolem 7,4%. Fáze α má kubickou plošně centrovanou mřížku, která zajišťuje materiálu dobré plastické vlastnosti. Maximální rozpustnosti hliníku 9,4% dosahujeme ochlazováním při eutektoidní teplotě 565°C. Vznik fáze β je způsoben překročením maximální rozpustnosti při pomalém ochlazování, kdy dochází k transformaci, při eutektoidním rozpadu na eutektoid ($\alpha + \gamma_2$).



Obr. 2-6: Rovnovážný diagram hliníkového bronzu (Cu – Al)[12]

Vzniklá fáze γ_2 je elektronová sloučenina Cu_9Al_4 , při které je struktura tvrdá ale křehká. Fáze γ_2 způsobuje nárůst tvrdosti materiálu, ale zároveň dochází k poklesu houževnatosti (při obsahu Al nad 10%). Tyto závislosti ukazuje Obr. 2.7. [12][14][23]



Obr. 2-7: Závislost mechanických vlastností na obsahu hliníku (Cu – Al)[12]

Další bronzy – do této skupiny spadají ostatní bronzy (červené bronzy, olověné bronzy, křemíkové bronzy. Berilyové bronzy, niklové bronzy, manganové, chromová měď a další).

Také se objevují speciální názvy slitin, které mají specifické složení pakfong, konstantan, kupronikl

Intervaly teplot tuhnutí – U slévarenských slitin mědi (mosazí i bronzů) je důležitý interval teplot tuhnutí ($\Delta T = T_L - T_S$), to je rozdíl teploty likvidu a teploty solidu. Podle šířky pásma tuhnutí lze tyto slitiny rozdělit do dalších skupin:

Slitiny **s úzkým intervalem teplot tuhnutí** do 50 K. Do těchto slitin se řadí hliníkové, manganové a niklové bronzy, žluté mosazi, a chromová měď.

Slitiny **se střední intervalem teplot tuhnutí** (50 až 110K). Slitiny Cu-Ni, křemíkový bronz, křemíková mosaz.

Slitiny **se širokým intervalem teplot tuhnutí** nad 110 K. To jsou olověný, červený, cínový a cíno-olověný bronz.

2.4. Tavení slitin mědi

Ve slévárnách se slitiny mědi taví nejčastěji v kelímkových plynových, odporových nebo elektrických indukčních pecích. Tavenina je tvořena vstupním materiálem (housky), vratným materiálem (nálitky, vtokové soustavy, zmetky). Tavení z čistých surovin se ve slévárnách téměř neprovádí, čisté suroviny se zpracovávají v hutních provozech.

Ve slévárnách se upravuje chemické složení taveniny buď čistými přísadovými kovy, nebo jako předslitiny s mědí. U prvků, které jsou těžko tavitelné nebo kovy lehce oxidující, se přidávají jako slitiny. Jako čisté prvky se přidávají Sn, Zn a Pb. Mezi předslitiny patří tyto Cu-P, Cu-Mn, Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Fe, Cu-Si, Cu-Cr

Čistou mědí se snižuje koncentrace přísad v tavenině. Jako čistá měď se bere měď katodová, měděné vodiče a elektrotechnické mědi. Některé prvky obsažené v tavenině se nechají snižovat chemickou cestou pomocí rafinačních přípravků. Tímto způsobem můžeme výrazně snížit ze slitiny např. křemík nebo hliník. Rafinační soli po zreagování s taveninou vytváří strusku.

Mezi významné zdroje naplynění patří vsázková surovina, hlavně katodové materiály (měď, mangan, nikl) obsahující velké množství vodíku. Dalšími zdroji naplynělosti je znečištěná (mazivy) a vlhká vsázka.

2.5. Plyny ve slitinách mědi, oxidační a redukční vedení tavby

Při tavení slitin mědi dochází k oxidaci a naplynění vodíkem. Při tavení slitin mědi je hlavním zdrojem vodní pára. Vsázkových surovin, organické nečistoty a spaliny z hořáku plynových pecí.

Mezi zdroje vodní páry patří navlhlý vsázkový materiál, náradí, vyzdívka, vlhké rafinační přípravky, pecní atmosféra. Při kontaktu H_2O a taveniny dochází k rozkladu na kyslík a vodík, který se dále dostává do taveniny. Vodní pára, oxidy přítomných kovů a nekovů jsou další sloučeniny, které způsobují výskyt vměstků.

Oxidické vměstky vznikají reakcí přítomných prvků s kyslíkem, vměstky jsou nežádoucí z důvodů zhoršování mechanických vlastností odlitků. V tavenině se vyskytují vměstky v tuhém nebo tekutém stavu. Ke snížení nežádoucích vměstků slouží čistící a rafinační soli a inertní plyny (Ar, N), produkty reakcí se následně dostávají do strusky.

Při reakci kyslíku s mědí vzniká oxid měďnatý CuO (měďný Cu₂O), který se rozpouští v tavenině.

Při tavení slitin mědi se používají dva druhy vedení tavby, oxidační a redukční vedení tavby.

Oxidační vedení tavby - při oxidačním vedením tavby je palivo spalované s přebytkem vzduchu. Při takto nastaveném spalování vzniká oxidační plamen modré až zelené barvy (podle obsahu prvků ve slitině).

Dosahuje se záměrného zvyšování kyslíku v tavenině. Tohoto efektu se dosahuje nastavením plamene (oxidační). Dále můžeme tohoto stavu dosáhnout přípravky a solemi, které fungují jako nosiče kyslíku. Za zdroje, které dodávají kyslík do taveniny, lze považovat např. CuO nebo MnO₂.

Dalším způsobem, jak dostat do taveniny kyslík, je difuzí a mechanickým mícháním taveniny v peci nebo vhánění inertních plynů se současným dmýcháním kyslíku vodou chlazenou trubicí, vsunutou pod hladinu tekutého kovu.

Tímto způsobem tavení dosahujeme nízkého obsahu rozpuštěného vodíku v tavenině. Čímž se snižuje riziko vzniku zárodků pro tvorbu bublin.

Jako protiklad u tohoto způsobu vedení tavby je zvýšení kyslíku v tavenině, který je nutné před odléváním snížit pomocí desoxidačních přípravků.

Redukční vedení tavby- při redukčním vedení tavby je palivo spalované s přebytkem topného plynu. Při takto nastaveném spalování vzniká redukční plamen.

Při tomto tavení dochází k nekontrolovatelnému naplynění vodíkem. Zakrytím hladiny krycí solí nebo dřevěným uhlím lze naplynění částečně snížit. Dále můžeme omezit naplyněnost vodíkem vsázkováním vysušeným (předehřátým) vsázkovým materiálem. Snížení obsahu vodíku v tavenině se provádí odplynováním.

K odplyňování můžeme využít probublávání inertním plynem (nejčastěji dusík), odplyňování tabletami nebo vakuováním.

Při redukčním vedení tavby je obsah kyslíku v tavenině malý, proto je možné použití malého množství desoxidačního přípravku. Při tavení slitin mědi se v tavenině rozpouští také oxid siřičitý a oxid uhličitý, které způsobují oxidaci.



3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

3.1. Výroba zkušebních vzorků

Zhotovení zkušebních vzorků (tyče pro zkoušku pevnosti v tahu a zkušební tělesa pro spektrální analýzu) probíhalo ve společnosti, kde byly na pracovišti ručního formování vyrobeny formy a následně byly odlity z hliníkové bronzy (CuAl10Fe5Ni5) dle standartních postupů slévárny a dvoustupňovým dolegováním předslitinou AlSr10 dle potřeby.



Obr. 3-1: Vzorky pro chemickou analýzu [25]

Ve slévárně se používají bentonitové a furanové formovací směsi. Experimentální vzorky byly vyrobeny formováním do jednotné bentonitové směsi, která je připravována v kolovém mísiči (Obr. 3-2) o hmotnosti zpracovávané směsi cca 400 kg. Do mísiče bylo naváženo požadované množství vratné směsi a doplněno potřebné množství nového ostřiva, bentonitu a vody. Při míchání směsi byl použit bentonit sabenil S25 a dle zjištěné vlhkosti vratné směsi bylo přidáno vypočtené množství vody pro dosažení potřebné vlhkosti, pevnosti a prodyšnosti. Po dokonalém promíchání je směs z mísiče vysypána a pásovým dopravníkem převezena na ruční formovnu.

Formy byly vyrobeny na pracovišti ručního formování do hliníkových rámců. Postup formování byl standartní.



Obr.3-2: Dřevěný model pro výrobu zkušebních vzorků [25]

Volný model zkušebních tyčí byl uložen na podložku, na kterou byl položen formovací rám, a pneumatickou pýchovačkou byla vyrobena dolní poloforma. Obdobně byla vyrobena horní poloforma, do které byly umístěny nálitky, a na střed rozváděcího kanálu byl zaveden vtokový kůl. Následovalo vyjmutí modelu, očištění obou částí formy od přebytečného písku a složení forem. Formy byly následně zakryty, aby nedocházelo k jejich osychání a zamezilo se možnému napadání nečistot do formy.



Obr.3-3: Kolový mísič [25]

Jednotná bentonitová formovací směs byla standardně kontrolována na tyto parametry: prodyšnost [n.j.p], vlhkost [%], pevnost v tlaku [kPa].



Obr. 3-4: Přístroje pro kontrolu formovací směsi (kontrola prodyšnosti – vlevo nahoře; kontrola vlhkosti – vpravo nahoře; kontrola pevnosti v tlaku – vlevo dole) [25]

Vzorky pro kontrolu se odebíraly z připravené směsi na ruční formovně, vždy ve stanoveném množství, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků při měření. V tabulce 3.1 jsou uvedené naměřené hodnoty formovací směsi. Pro porovnání byly použity hodnoty ze dne formování zkušebních vzorků a hodnoty měření z měsíce dubna 2016. U hodnot z měsíce dubna jsou uvedeny průměrné hodnoty, minima a maxima, dále směrodatná odchylka.

Tabulka 3.1: Hodnocení formovací směsi

duben 16	PEVNOST [kPa]	PRODYŠNOST [n.j.p.]	VLHKOST [%]
průměr	133,08	122,50	3,82
medián	134,00	124,00	3,90
max	150,00	138,00	4,30
min	110,00	99,00	3,40
sm. odch.	11,34	11,46	0,23
hodnoty ze dne formování tyček	130	155	3,4

Z hodnot v tabulce je zřejmé, že měřené parametry se významně neliší.



Obr. 3-5: Tavící pec (vlevo) a tavící kelímek (vpravo) pro Cu slitiny

Tavení kovové vsázky bylo provedeno ve stacionární plynové kelímkové peci v grafitovém kelímku o obsahu 280 kg taveniny (Cu-Al). Pro účel tohoto experimentu bylo nataveno 150 kg hliníkové bronzy. Kovová vsázka byla složena z ingotů (obr. 3) standardního chemického složení dle normy ČSN EN 1982 a požadavků na slitinu CuAl10Fe5Ni5-B (CB333G). Označení B znamená složení dané pro ingoty, dle příslušné normy. V tabulce je uvedeno porovnání chemického složení pro ingoty a odlitky, kde jsou uvedeny rozdíly, které zajišťují případné snížení obsahu daného prvku propalem.



Obr. 3-6: Vstupní materiál ve formě ingotů (housek)

Po natavení a promíchání taveniny při teplotě cca 1150°C byl odlit první vzorek pro chemickou analýzu. Po dosažení požadované teploty 1220 °C byla tavenina dolegována předslitinou CuMn30 o hmotnosti 350g a přidána čistící a dezoxidační sůl s označením ECOSAL Cu 420 (použitelné přípravky pro slitiny Cu viz. Příloha č. 1).

Tavící kelímek zároveň sloužil jako odlévací pánev. Kelímek byl z pece vyjmut pomocí samosvorných kleští zavěšených na jeřábu. Následně byl umístěn na připravené místo a vsazen do odlévacího přípravku, který byl zavěšen na jeřábu.

Pro experiment bylo uvažováno se zvýšením obsahu stroncia (Sr) v tavenině nejprve na hodnotu 500 ppm a následným navýšením na hodnotu 1000 ppm.

Množství potřebné pro dolegování taveniny stronciem, bylo vypočteno dle vzorce:

$$\mathbf{předslitina} = \frac{\Delta X}{X_{předslit}} * 100 \quad [14] (19)$$

ΔX – rozdíl mezi požadovaným a aktuálním obsahem prvku X ve slitině (%)

$X_{předslit}$ – koncentrace přísadového prvku v předslitině (%)

Tab. 3.2: Přehled vzorků pro chemickou a analýzu

odlívání vzorků během experimentů		
číslo vzorku	teplota taveniny	stav taveniny
[číslo]	[°C]	
vz. č. 1	1200	materiál po roztavení, bez metalurgických zásahu
vz. č. 2	1210	po legování CuMn30 (700g), přidáním ECOSAL Cu 420 (75g)
vz. č. 3	1190	po přidání první dávky AlSr10 (789g)
vz. č. 4	1160	po přidání druhé dávky AlSr10 (500g)
vz. č. 5	1156	tavenina po odlití zkušebních tyček

Skupina vzorků č. 2, č. 3 a č. 4 byla podrobena zkouškám mechanických hodnot.

Tab. 3.3: Chemické složení vzorků 1 až 5

	Cu	Al	Fe	Ni	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Si	Mg	Cr	As
1	81,21	8,992	4,708	4,462	0,219	0,034	0,015	0,0080	0,269	0,071	0,0019	0,0039	0,0093
2	81,34	8,889	4,681	4,378	0,223	0,035	0,016	0,0083	0,348	0,071	0,0019	0,0044	0,0093
3	80,51	9,269	4,906	4,634	0,224	0,029	0,015	0,0085	0,321	0,068	0,0016	0,0037	0,0099
4	80,26	9,490	4,917	4,658	0,228	0,027	0,015	0,0080	0,317	0,068	0,0015	0,0034	0,0096
5	80,39	9,437	4,827	4,661	0,226	0,028	0,015	0,0079	0,320	0,069	0,0015	0,0035	0,0093

Po vyjmutí kelímku z pece, stažení strusky z hladiny tekutého kovu bylo provedeno dolegování předslitinou AlSr10 v množství čtyř tyček o hmotnosti 0,789g. Po mírném promíchání tekutého kovu a změření teploty následovalo odlití šesti forem a jednoho vzorku pro chemickou analýzu.

Po odlití první sady forem, následovalo druhé dolegování předslitinou AlSr10 v množství 500g (uvažováno cca 100 kg materiálu v licím kelímku). Další postup byl stejný jako při prvním přidání předslitiny (promíchání, vzorek pro chemickou analýzu, změření teploty – během odlévání). Po ukončení odlévání byla změřena teplota tekutého kovu a byl nalit vzorek pro chemickou analýzu (ozn. č. 5).

Odlité formy pro experiment byly označeny čísly 1 a 2. Číslo 1 znamenalo vzorky nalité v první části a číslo 2 vzorky nalité v druhé části (viz. Obr 3-5). Na nálitky odlitků byla vyražena čísla v posloupnosti odlévání (1 až 12).



Obr. 3-7: Nalité a označené zkušební vzorky [25]

Vyjmutí odlitků z forem následovalo po cca 2 hodinách. Z odlitků byly odstraněny zbytky formovací směsi. Následující den byly odlitky zbaveny nálitků, vtokových soustav a dočištěny.

Po označení byly předány na obrobení závitových hlav, pro přípravku ke stojí na měření pevnosti v tahu.

3.2. Tepelné zpracování skupiny vzorků

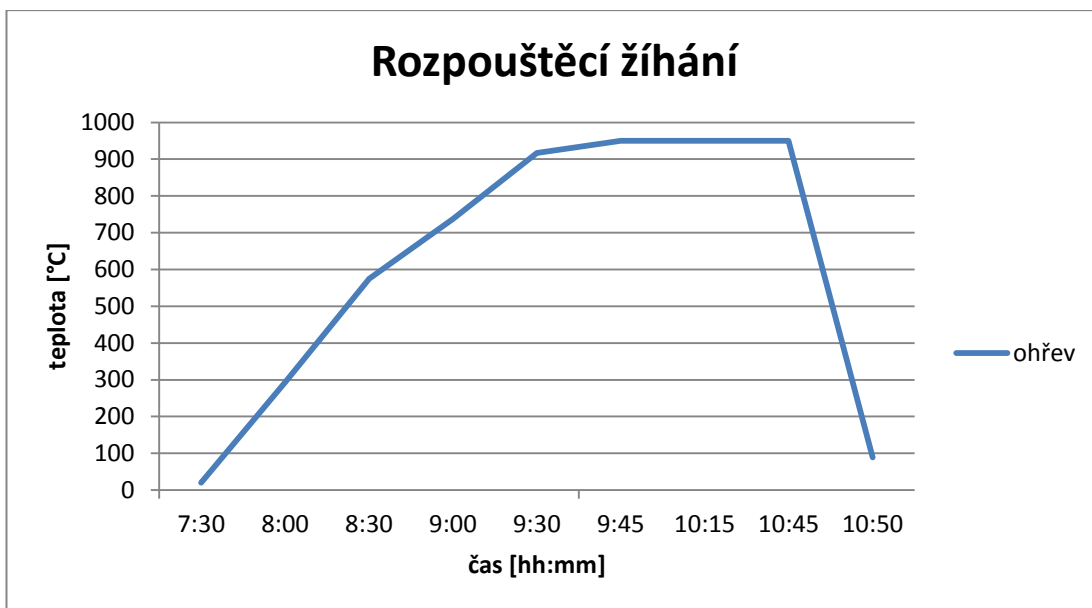
Vzorky byly rozděleny do dvou skupin. Každá skupina obsahovala provozní vzorky a vzorky odlité pro experiment.

Tepelné zpracování zkušebních tyčí proběhlo na Katedře strojírenské technologie. Tento zkušební experiment nebylo možné provést v provozu společnosti, z důvodů nízkých používaných teplot pro tepelné zpracování slitin hliníku.

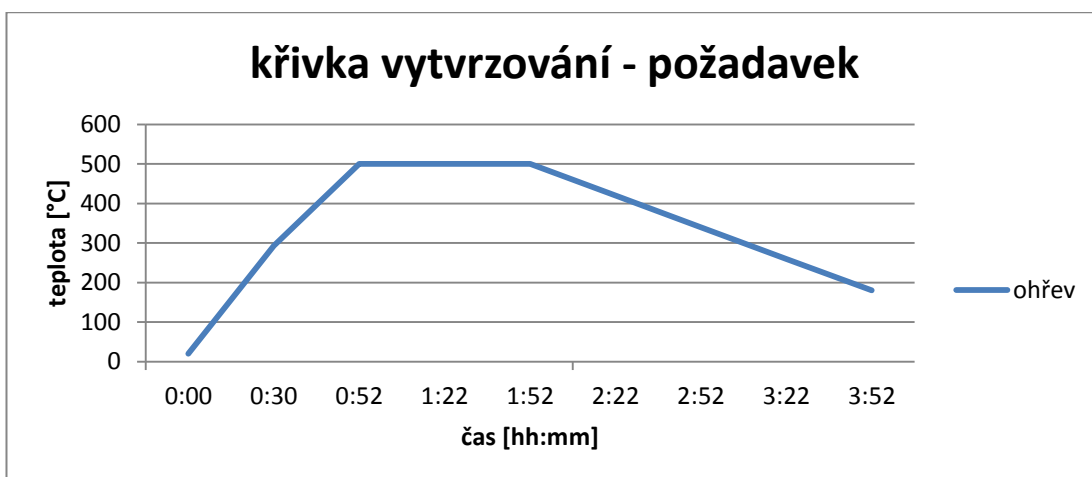


Obr. 3-8: Ohřívací pec CLASIC 11016S [25]

Ohřev zkušebních vzorků byl prováděn na přístroji CLASIC (Obr. 3-8). Tepelné zpracování (rozpouštěcí žíhání) bylo nastaveno na náběh teploty 950°C, výdrž na této teplotě 1 hodinu a následné ochlazení ve vodě o teplotě cca 50°C. Tepelné zpracování je zobrazeno na Obr. 3-8. Po kalení následovalo vytvrzování při teplotě 500°C po dobu 1 hodiny a následné postupné ochlazování na vzduchu při teplotě cca 20°C.

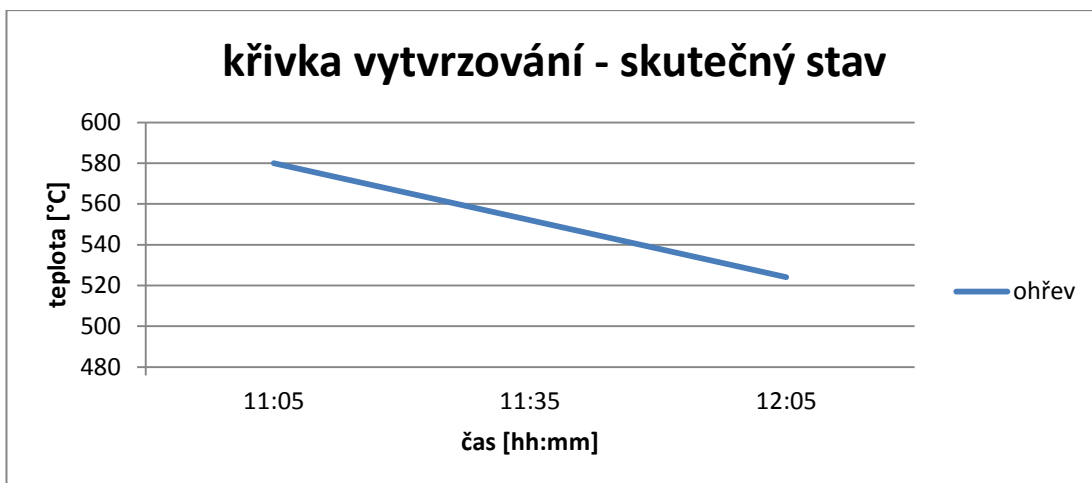


Obr. 3-9: Křivka rozpouštěcího žihání [25]

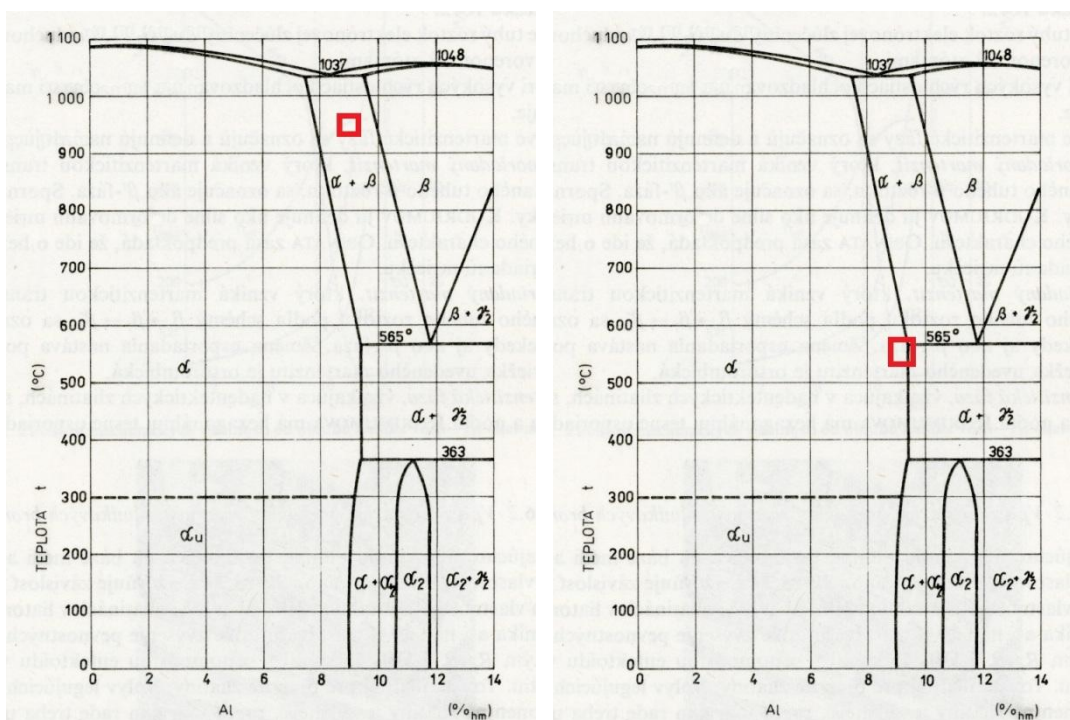


Obr. 3-10: Křivka vytvrzování - požadovaná [25]

Pec byla vyhřáta po rozpouštěcím žihání, náběh ohřevu při vytvrzování byl velmi rychlý. Po řízeném ochlazení pece, byla na termostatu zobrazena hodnota cca 350 °C. Po vypnutí řízeného ochlazení byly vzorky vloženy do pece a nastavena teplota ohřevu na 500°C. Po uzavření pece nastal skokový nárůst teploty (díky akumulaci tepla vyzdívky pece).



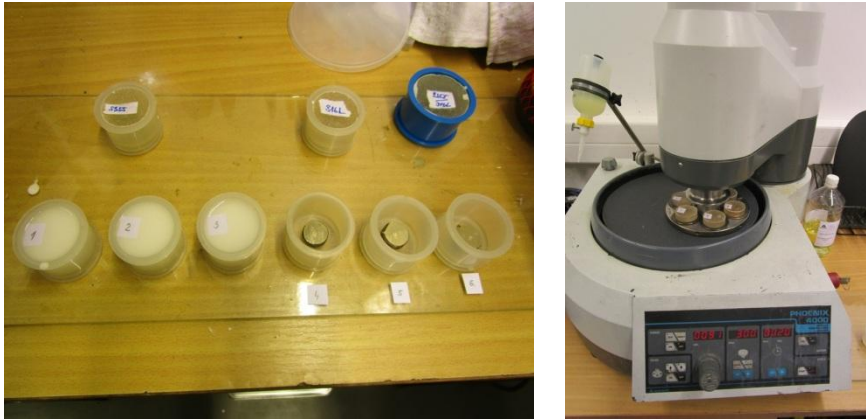
Obr. 3-11: Křivka vytvrzování - skutečná [25]



Obr. 3-12: Binární diagram s vyznačenou oblastí rozpouštěcího žíhání (vlevo) a vytvrzování (vpravo) skutečná [12]

3.3. Příprava vzorků pro obrazovou analýzu

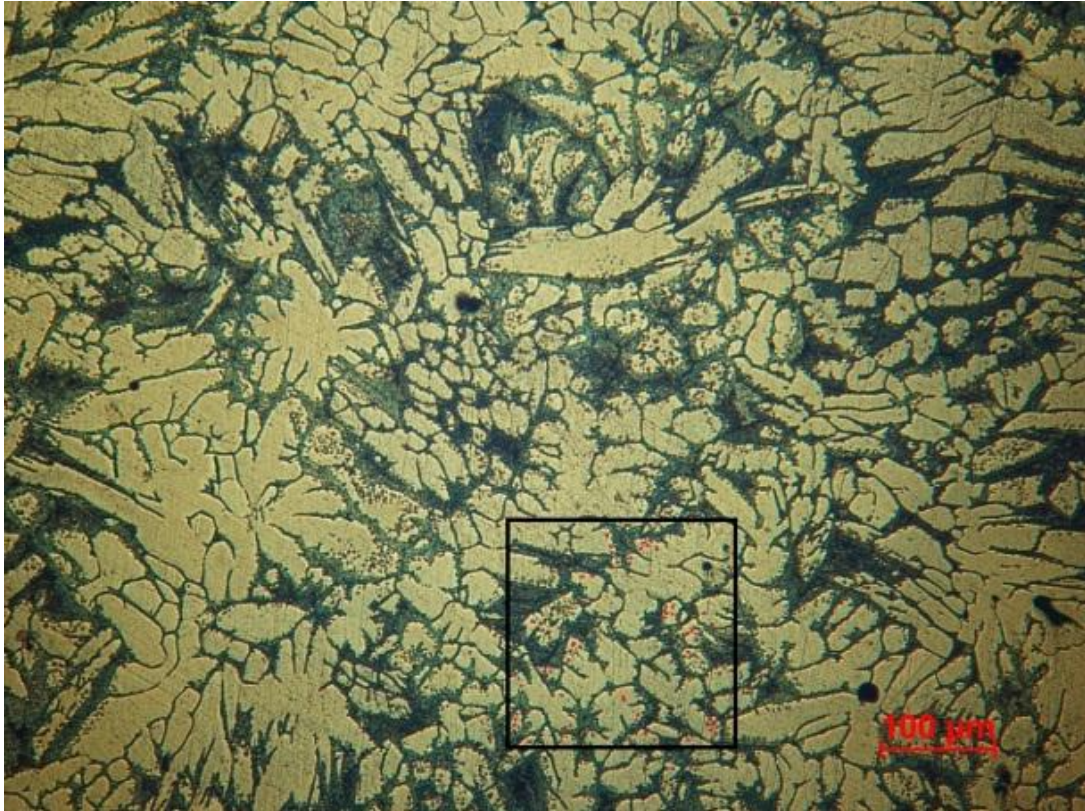
Z konců hlav tyčí pro zkoušku pevnosti v tahu byly odebrány tenké vzorky pro metalografická šetření a pro další obrazovou analýzu. Z každé skupiny vzorků byl odebrán vzorek. Jednalo se o 6 vzorků, které byly zality do dentakrylu a byly provedeny výbrusy a leptání leptadlem označeným jako Měď (cup Rum).



Obr. 3-13: Příprava a zalévání vzorků pro metalografii (vlevo), následné broušení a leštění vzorků pro metalografii (vpravo) [25]

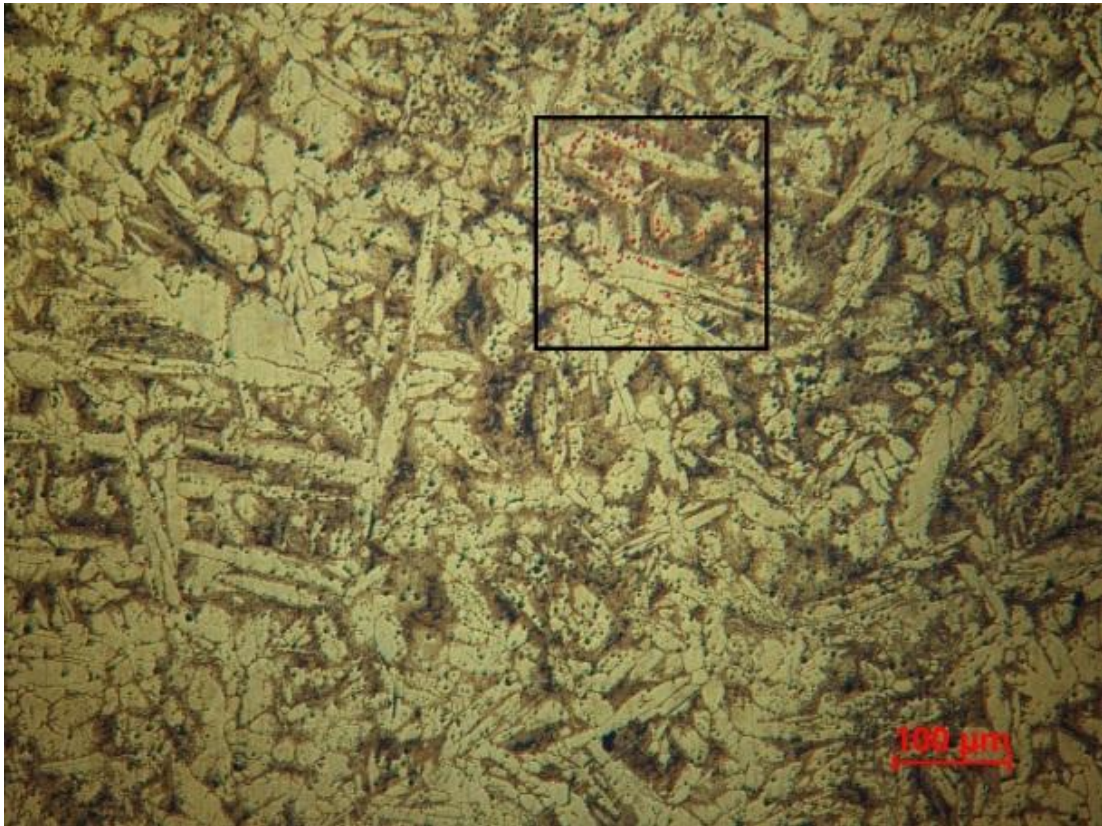


Obr. 3-14: NEOPHOT 21 – přístroj pro sledování struktruy



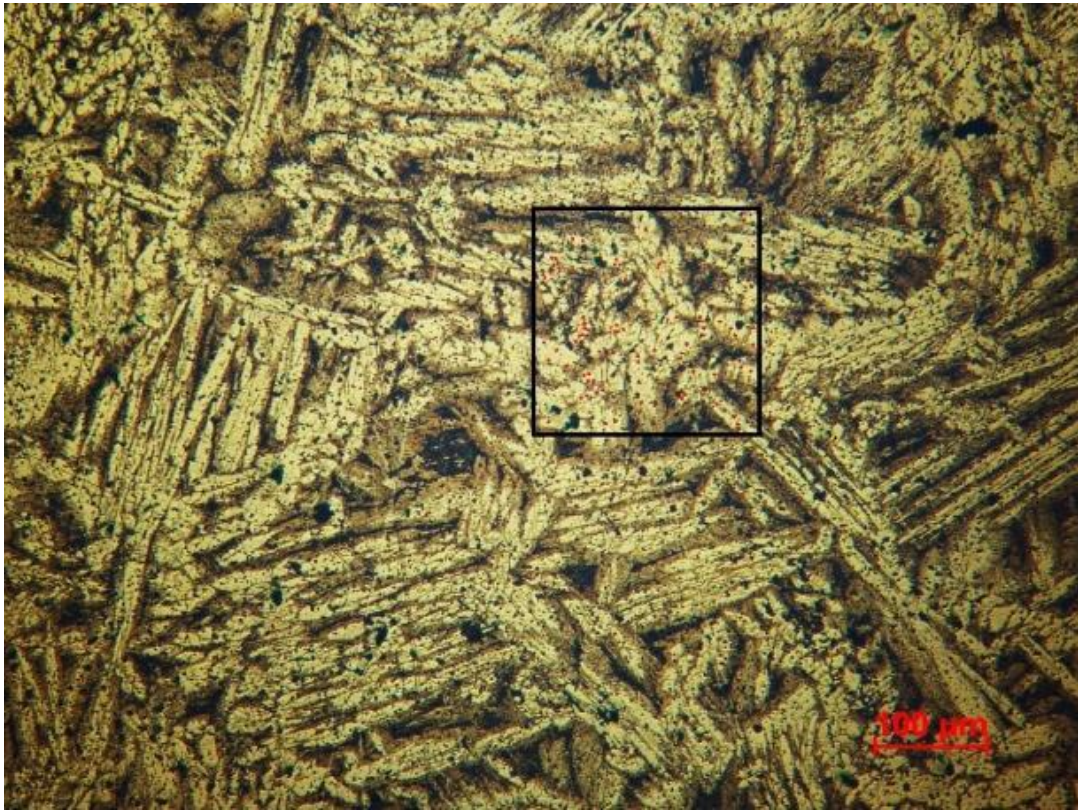
Obr. 3-15: Provozní vzorek (označený A) bez TZ[25]

Hodnocení struktury (Obr. 3-15: provozního vzorku): zrnité útvary jsou pravděpodobně z eutektoidní (mezidendritické fáze). Tečky ve výřezu (označeny červeně) jsou pravděpodobně zrnité útvary dendritů α fáze. Při detailnějším zkoumání těchto útvarů bylo zjištěno, že morfologie částic se poněkud liší od útvaru na následujících výbrusech. Tvar částic odpovídá zrnům eutektoidní oblasti mezi dendrity α fáze. Počet napočítaných precipitátů (červeně) ve výřezu (černé okénko) je 51.



Obr. 3-16 Experimentální vzorek (označený 1) po prvním přidání AlSr10 (789g) bez TZ[25]

Podle obrázku je zřejmé, že přídavek AlSr10 způsobil vznik precipitátu při tuhnutí. Mezidendritická struktura se nejeví jako zrnitá. Vzorek byl nalit cca 2 minuty po legování. Počet napočítaných precipitátů (červeně) ve výřezu (černé okénko) je 141.

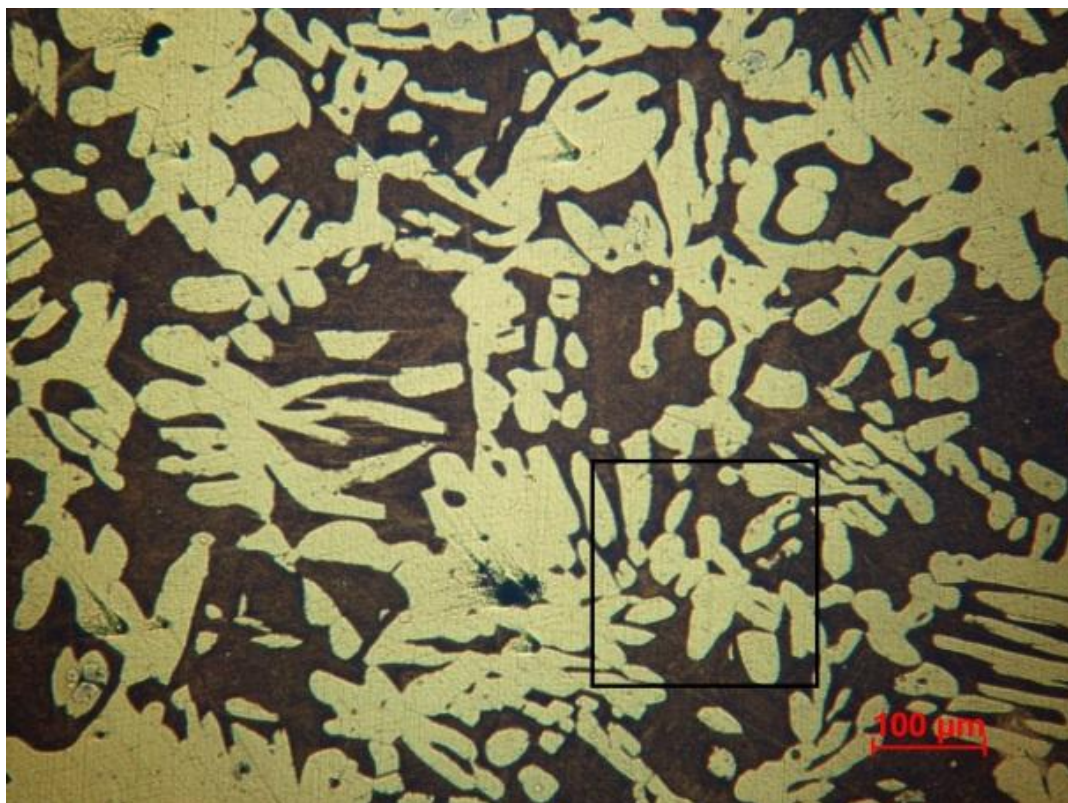


Obr. 3–17: Experimentální vzorek (označený 7) po druhém přidání AlSr10 (500g) bez TZ [25]

Po přidání další dávky AlSr10 došlo ke značnému poklesu precipitátů (viz.Tab. 3.4). Z tohoto lze usuzovat, že Sr pravděpodobně způsobuje zjemnění zrna α fáze. Vzorek byl opět nalit cca 2 minuty po druhém legování (cca 15 minut po prvním legování). Počet napočítaných precipitátů (červeně) ve výřezu (černé okénko) je 51. Jako další z možných vysvětlení je, že přídavek Sr se podílí na lamelární struktuře α fáze.

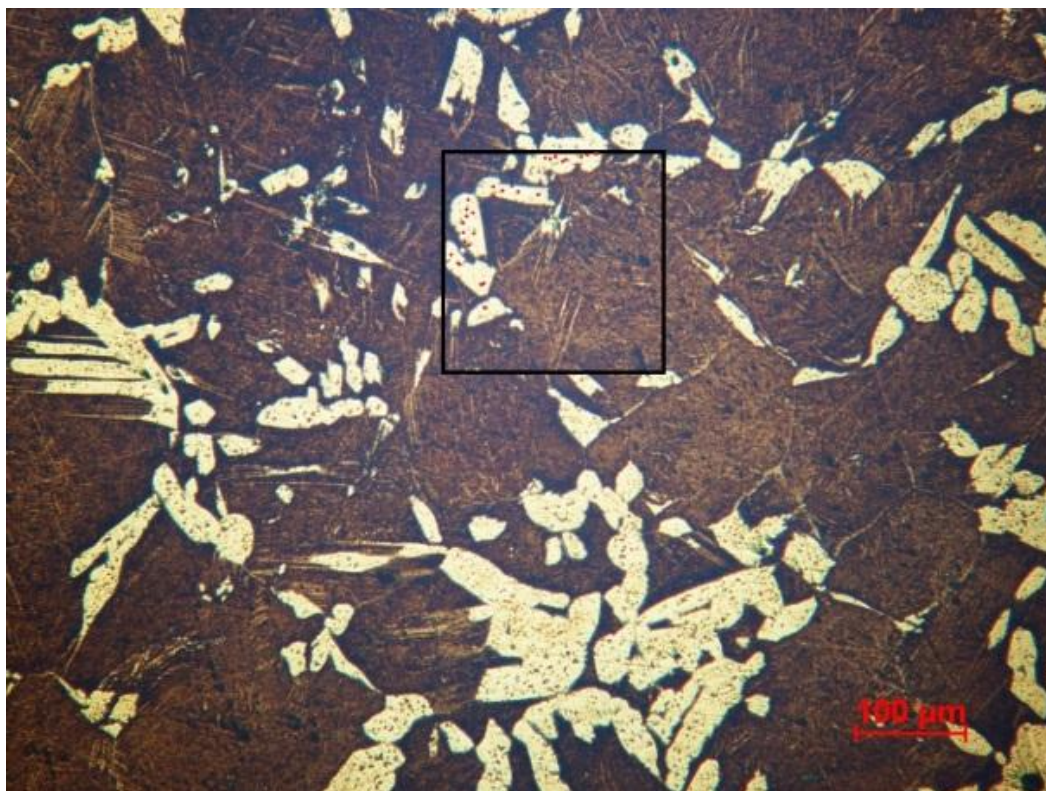
Tab. 3.4: Množství pecipitátů jednotlivých vzorků [25]

vzorek č.	počet precipitátů
vzorek č. 1	51
vzorek č. 2	141
vzorek č. 3	71
vzorek č. 4	1
vzorek č. 5	28
vzorek č. 6	0



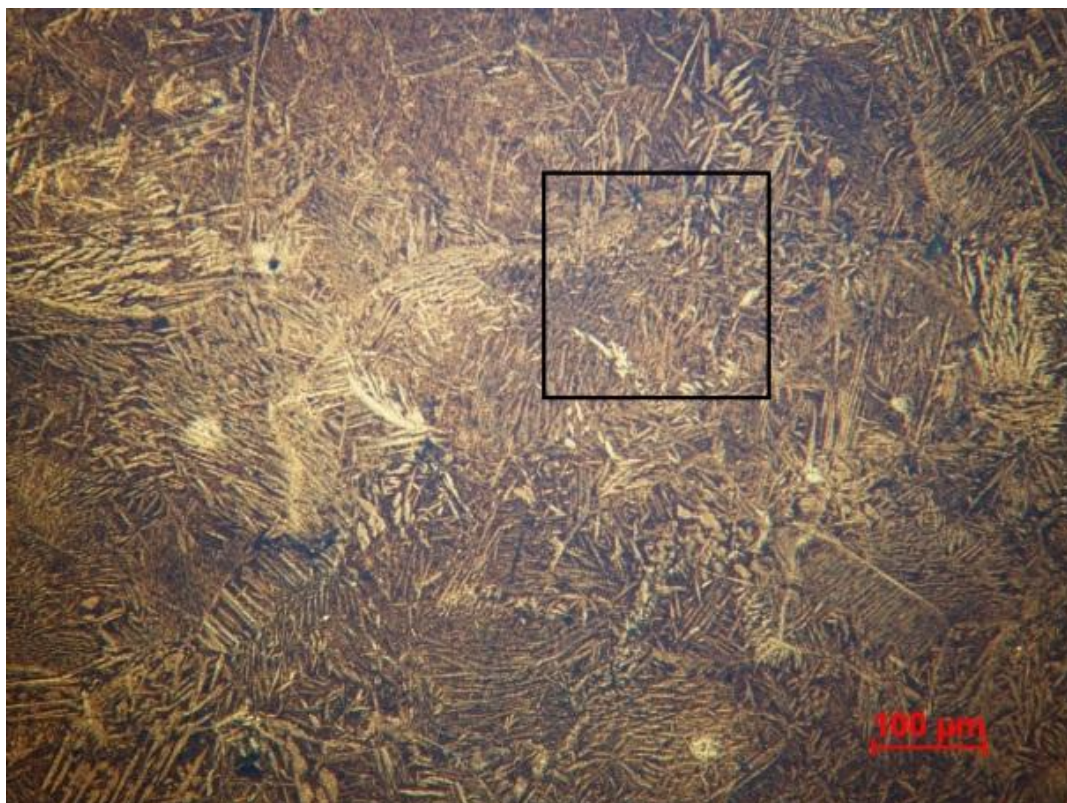
Obr. 3-18: Provozní vzorek (označený A) s TZ [25]

U provozního vzorku bez přidání legury AlSr10 je patrné, že nastala změna eutektoidní fáze po TZ. Fáze α má zaoblené rozpuštěné hranice zrn.



Obr. 3-19: experimentální vzorek (označený 1) po prvním přidání AlSr10 (789g) s TZ [25]

Na obr. 3 je patrné, že TZ mělo významný vliv na změnu morfologie α fáze. Zrna z α fáze se výrazně zmenšila a vznikla nová eutektoidní fáze s náznaky jehlic.



Obr. 3-20: Experimentální vzorek (označený 7) po druhém přidání AlSr10 (500g) s TZ [25]

Struktura vzorku se úplně změnila na jemně jehlicovitou α fázi bez precipitátů. Mezi jehlicemi se vyskytuje jemná eutektoidní fáze.

3.4. Makrostruktura

Makrosnímky lomu zkoušek pevnosti v tahu. Struktura obsahuje hrubší podíly, které měly vliv na zjištěné hodnoty. Touto problematikou se práce dále nezabývala. Hrubší podíly měly pravděpodobně vliv na snížení hodnot tažnosti viz. Obr 3. Po tepelném zpracování došlo k enormnímu nárůstu tvrdosti viz. Obr 3.



Obr. 3-21: Makrostruktura provozních vzorků (označených A-E), (horní bez TZ, dolní s TZ) [25]



Obr. 3-22: Makrostruktura vzorků Experimentálních vzorků (označených 2-6) po prvním přidání AlSr10 (789g), (horní bez TZ, dolní s TZ) [25]



Obr. 3-23: Makrostruktura vzorků Experimentálních vzorků (označených 2-6) po prvním přidání AlSr10 (789g),(horní bez TZ, dolní s TZ) [25]

3.5. Výsledky zkoušek pevnosti v tahu

Výsledky provedených mechanických zkoušek, jsou shrnuty v následujících tabulkách Tab. 3.5 a Tab. 3.6

Tab. 3.5: Tabulka naměřených mechanických hodnot pro vzorky bez TZ [25]

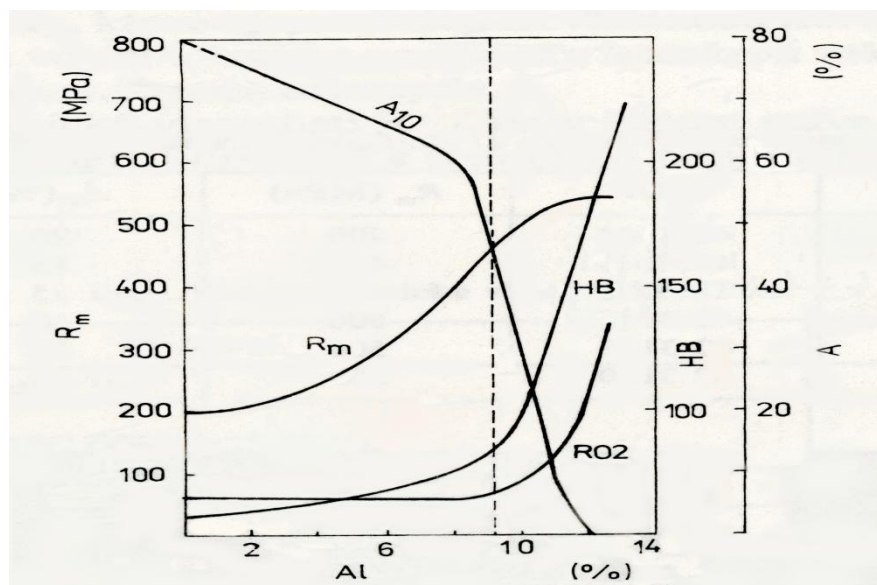
VZORKY BEZ TZ				
vzorek	Mez pevnosti v tahu R_m	0,2% smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	tažnost A	Tvrdość podle Brinella
[č.]	[MPa]	[MPa]	[%]	[HBW]
1	nebylo možné provést zkoušku			
2	608	345	7,14	132
3	536	341	4,43	131
4	606	335	7,71	131
5	577	345	5,71	127
6	546	331	5,29	133
7	nebylo možné provést zkoušku			
8	516	362	3,00	144
9	590	361	4,57	139
10	495	354	2,57	129
11	531	368	2,86	132
12	549	370	3,86	137
A	594	249	17,00	182
B	620	276	14,00	170
C	626	260	18,29	181
D	674	488	10,86	129
E	610	328	12,14	120
vzorek E byl dodatečně přepočítán pro průměr 10 mm				

Tab. 3.6: Tabulka naměřených mechanických hodnot pro vzorky s TZ [25]

VZORKY s TZ				
vzorek	Mez pevnosti v tahu R_m	0,2% smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	tažnost A	Tvrдость podle Brinella
[č.]	[MPa]	[MPa]	[%]	[HBW]
1	nebylo možné provést zkoušku			
2	603	504	1,86	176
3	679	657	1,09	178
4	674	593	1,71	181
5	631	523	2,14	180
6	645	546	2,00	191
7	nebylo možné provést zkoušku			
8	733	704	0,86	225
9	609	549	0,71	206
10	556	550	0,71	201
11	663	583	1,14	228
12	648	551	1,14	214
A	580	350	6,00	
B	552	350	4,8	146
C				171
D	732	469	7,00	184,00
E	728	491	6,14	167

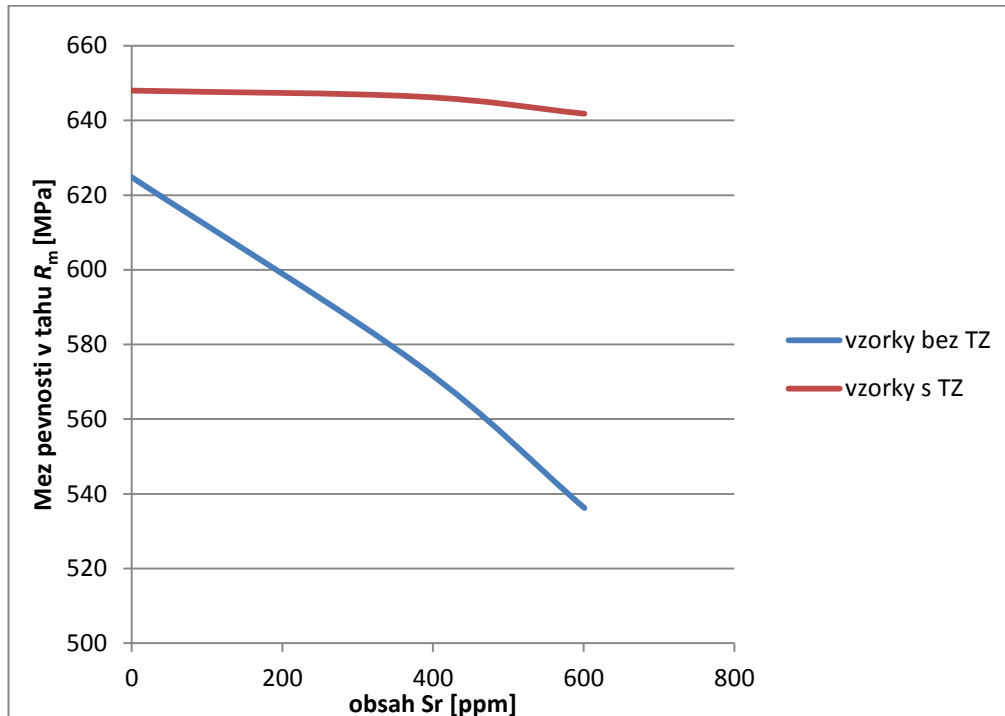
Tab. 3.7: Tabulka mechanických hodnot dle ČSN EN 1982 [25]

CuAl10Fe5Ni5	Mez pevnosti v tahu	0,2% smluvní mez kluzu	Tažnost	Tvrдость podle Brinella
	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	[HBW]
Lití do pískové formy - GS	600	250	13	140
Lití do kovové formy - GM	650	280	7	150
Odstředivé lití - GZ	650	280	13	150
Kontinuální lití - GC	650	280	13	150



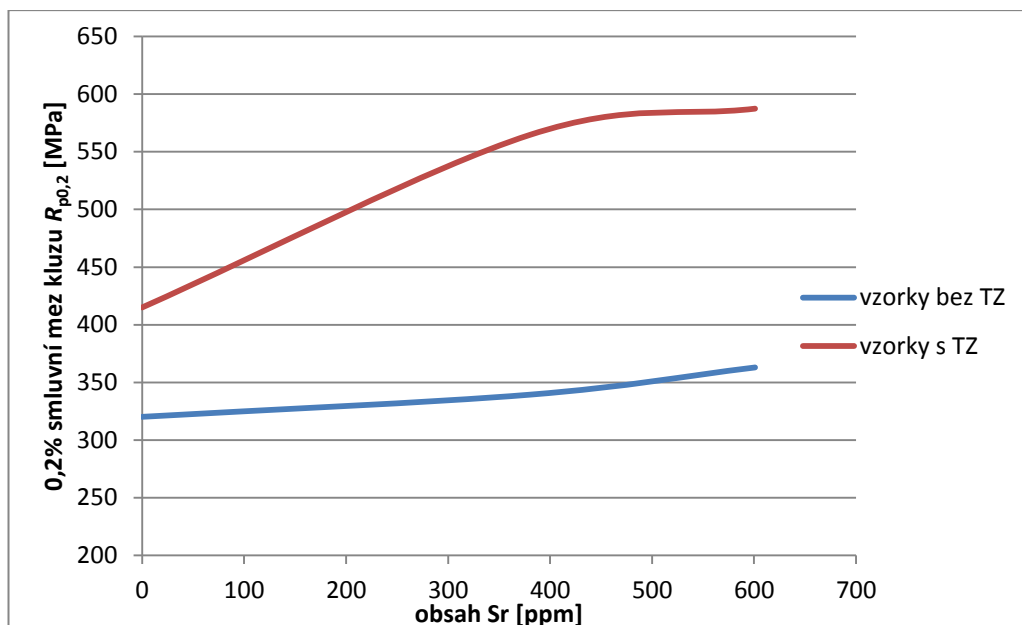
Obr. 3-24: Průběh mechanických hodnot [12]

Závislost obsahu stroncia na mechanických hodnotách vzorku vycházející z diagramu Obr. 3-25 až Obr. 3-28, byla rozdělena do 4 skupin, viz. následující průběhy. Modrá křivka značí hodnoty bez TZ, červená s TZ



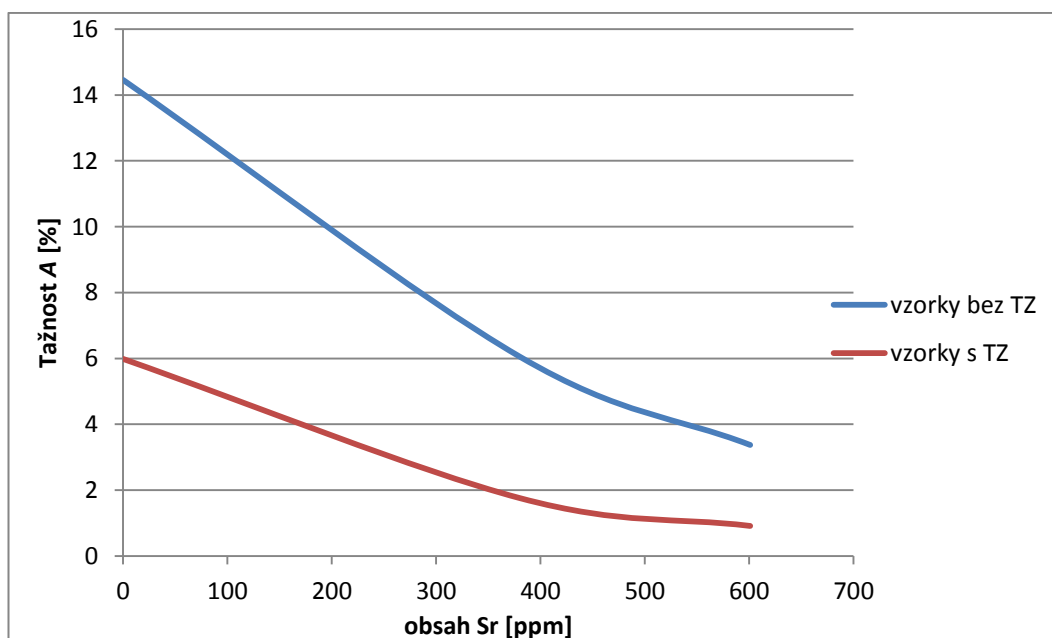
Obr. 3-25: Graf závislosti obsahu Sr na hodnotě pevnosti v tahu [25]

Významný pokles pevnosti v tahu u vzorků legovaných Sr bez TZ. Po tepelném zpracování je zjevný rovněž pokles pevnosti v tahu, ale méně výrazný.



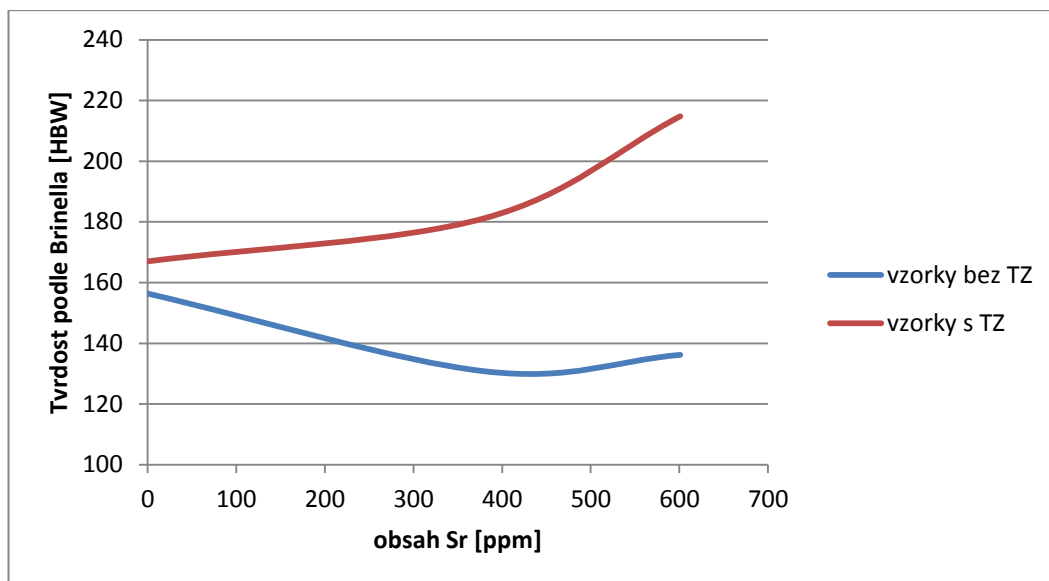
Obr. 3-26: Graf závislosti obsahu Sr na hodnotě $R_{p0,2}$ [25]

Méně významný vzestup hodnoty $R_{p0,2}$ u vzorků legovaných Sr bez TZ. Po tepelném zpracování je významný nárůst $R_{p0,2}$. Za hodnotou 380 ppm Sr je již směrnice křivky nižší.



Obr. 3-27: Graf závislosti obsahu Sr na hodnotě A [25]

Významný pokles tažnosti u vzorků legovaných Sr bez TZ. U vzorků s TZ je zjevný rovněž pokles, z hodnoty menší než poloviční.



Obr. 3–28: Graf závislosti obsahu Sr na hodnotě tvrdosti (HBW) [25]

Významný pokles tvrdosti u vzorků legovaných Sr bez TZ s minimem, za 380 ppm Sr. U vzorků s TZ je zjevný nejprve mírný vzestup, později za 380 ppm Sr s vyšší hodnotou směrnice křivky

Uvedené údaje na předchozích obrázcích korespondují s metalografickým šetřením.

4. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Pro teoretickou část Diplomové práce byla provedena literární rešerše, ze které vyplynulo, že hliníková bronz může poskytnout nejvíce nových informací pro provedení stanovených zkoušek na odlitých vzorcích ve společnosti.

Diplomová práce se zabývá metalurgií a mechanickými hodnotami odlitek ze slitiny mědi na odlitky CuAl10Fe5Ni5. Tato slitina je nazývána hliníkový bronz. Pro ověření mechanických hodnot a struktur odlitých vzorků bylo použito legování předslitinou AlSr10.

Pro účel této práce byly zhotoveny vzorky ručním formováním do směsi pojené bentonitem. Bylo zhotoveno 12 forem. Každá forma obsahoval 2 kusy vzorků tyčí pro zkoušku pevnosti v tahu, tvrdosti a pro metalografické šetření. Dále byly použity rozměrově shodné tyče pro zkoušku tahem z běžných provozních podmínek.

Slitina byla vyrobena natevením vsázky ve stacionární plynové kelímkové peci. Taveniny byla standartně dolegována předslitinou CuMn30, rafinována solí ECOSAL Cu420. Po spektrální analýze chemického složení byla dále dolegována předslitinou AlSr10. Nejprve množstvím 0,789g a byla odlita první série vzorků (6 forem po 2 kusech). Následovalo další dolegování množstvím 500g a odlita další série vzorků (6 forem po 2 kusech). Během odlévání byly současně odlity vzorky pro chemickou analýzu. Průběžně byla prováděna kontrola vlastností formovací směsi a použitého tekutého kovu.

Obsah Sr bylo nutno dopočítat podle přídavku předslitiny AlSr10.

Na pracovišti Katedry Strojírenské technologie bylo provedeno tepelné zpracování (kap. 3.2.)

Následovala metalografická šetření (kap.3.3.). A další šetření obrazovou analýzou.

Zkoušky mechanických hodnot byly provedeny standartním způsobem v mechanické zkušebně společnosti. Naměřené hodnoty (kap. 3.5.)

Vliv legování předslitinou AlSr10 byl dále zkoumán prověřením závislosti mezi obsahem Sr a jednotlivými mechanickými hodnotami viz grafy.

Přítomnost Sr ve zkoumané slitině CuAl10Fe5Ni5 prokázala jednak zjemnění zrna a změnu jeho morfologie jak u α fáze, tak u eutektoidní fáze. Množství precipitátů mělo rovněž vliv na mechanické hodnoty viz. grafy na obr. 3-25 až 3-28.

Touto prací bylo prokázáno, že vliv malých objemů Sr významně mění jak mechanické hodnoty, tak morfologii strukturálních složek.

DOPORUČENÍ:

Problematikou vlivu Sr na mechanické hodnoty slitin CuAl10, CuZn31, CuSn12 a případně dalších by bylo velmi užitečné se nadále intenzivně zabývat, protože je v současnosti velmi málo literatury, která by pro provozní praxi mohla být využita při hledání možností změn mechanických hodnot slitin mědi.

Významnou pozornost si zaslouží zcela jistě metalografická šetření a obrazová analýza uvedených slitin.

Dalším doporučením je zabývat se morfologií precipitátů v mikrostruktuře.

A dále by bylo velmi užitečné prozkoumat hrubší útvary na lomových plochách zkušebních tyčí pro zkoušku pevnosti viz kap. 3.4.

5. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] Neolit [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Neolit>
- [2] Eneolit [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eneolit>
- [3] Eneolit na území Česka [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Eneolit_na_%C3%BAzem%C3%AD_%C4%8Ceska
- [4] Doba bronzová [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Doba_bronzov%C3%A1
- [5] Periodická tabulka: Měď [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/29.html>
- [6] Měď [Cuprum] ${}_{29}\text{Cu}^{\text{I,II,III}}$ [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://nom.wz.cz/KOVY/Med1.htm>
- [7] Měď [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C4%8F>
- [8] Měď [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C4%8F>
- [9] Kuprit [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kuprit>
- [10] Bornit [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bornit>
- [11] tetradrit [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Tetradrit>
- [12] GRÍGEROVÁ, Tatiana et al: *Zlievárenstvo neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava /Praha 1988.
- [13] PÍŠEK, F. at. al: *Nauka o materiálu I/3 Neželezné kovy*. (The study of materials non-ferrous materials). Praha, 1975.

- [14] ROUČKA, J.: *Metalurgie neželezných slitin*. Akademické nakladatelství CERM, Brno: 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6
- [15] SEDLÁČEK, V.: *Neželezné kovy a slitiny*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha: 1979. 400 s.
- [16] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2016, roč. LXIX, č. 3-4, s. 129
- [17] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2015, roč. LXIII, č. 1-2, s. 56
- [18] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2014, roč. LXII, č. 3-4, s. 126
- [19] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2013, roč. LXI, č. 3-4, s. 143
- [20] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2012, roč. LX, č. 3-4, s. 121
- [21] *SLÉVÁRENSTVÍ* : časopis pro slévárenský průmysl. Brno : Reprocentrum, 1953- . Vychází 6krát ročně, 2011, roč. LIX, č. 3-4, s. 115
- [22] Raur Luboš: *Změna mechanických vlastností slitiny Al – Si při změně způsobu odplynění*. Liberec: bakalářská práce 2013
- [23] Beranová Dita: *Sledování krystalizace slitin mědi*. Liberec. Diplomová práce 2015
- [24] Ústní sdělení vedoucí práce
- [25] Vlastní zdroj

6. SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 - seznam přípravků ECOSAL skupina 4
- Příloha č. 2 - chemická analýza vzorku 1
- Příloha č. 3 - chemická analýza vzorku 2
- Příloha č. 4 - chemická analýza vzorku 3
- Příloha č. 5 - chemická analýza vzorku 4
- Příloha č. 6 - chemická analýza vzorku 5
- Příloha č. 7 - zkouška tahem provozní vzorek B bez TZ (Ústí nad Labem)
- Příloha č. 8 - zkouška tahem provozní vzorky bez TZ
- Příloha č. 9 - zkouška tahem + 1. dávka AlSr10 bez TZ
- Příloha č. 10 - zkouška tahem + 2. dávka AlSr10 bez TZ
- Příloha č. 11 - zkouška tahem provozní vzorek A s TZ (Ústí nad Labem)
- Příloha č. 12 - zkouška tahem provozní vzorek B s TZ (Ústí nad Labem)
- Příloha č. 13 - zkouška tahem provozní vzorky s TZ
- Příloha č. 14 - zkouška tahem + 1. dávka AlSr10 s TZ
- Příloha č. 15 - zkouška tahem + 2. dávka AlSr10 s TZ

PŘÍLOHA 1

Skupina 4

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro Cu a Cu slitiny, také pro bíle kovy jako zinek, cín, olovo a jejich slitiny, prášky

ECOSAL-CU 400

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro mosaz, neutrální

ECOSAL-CU 401

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro mosaz, se silnějším čistícím účinkem

ECOSAL-CU 420

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro Al - bronz

ECOSAL-CU 440

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro červený kov a bronz

ECOSAL-CU 460

Krycí granulát na bázi uhlíku

ECOSAL-CU 470

struskotvorný prostředek pro Cu-slitiny k zahuštění tekutých strusek

ECOSAL-ZN 481

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro Zn a Zn-slitiny

ECOSAL-ZN 481

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro Sn a Sn-slitiny

ECOSAL-ZN 481

Krycí, čistící a eliminační prostředky pro Pb a Pb-slitiny

PŘÍLOHA 2

17.5.2016 13:37:18

Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
↑										
□	0.219	0.034	0.015	0.0080	0.269	4.708	4.462	0.071	0.0019	0.0039
↓										
σ	0.00071	0.0010		0.00029	0.0012	0.044	0.036	0.00100	0.00010	0.00007
υ	0.324	2.941		3.625	0.446	0.935	0.807	1.408	5.263	1.795
Al As Cu										
	%	%	%							
↑										
□	8.992	0.0093	81.21							
↓										
σ	0.069	0.00010	0.065							
υ	0.767	1.075	0.080							

Cu170
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

PŘÍLOHA 3

17.5.2016 13:42:14

Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
↑										
□	0.223	0.035	0.016	0.0083	0.348	4.681	4.378	0.071	0.0019	0.0044
↓										
σ	0.0010		0.00071	0.00023	0.0017	0.046	0.049	0.00071		
υ	0.448		4.438	2.771	0.489	0.983	1.119	1.000		
Al As Cu										
	%	%	%							
↑										
□	8.889	0.0093	81.34							
↓										
σ	0.091	0.00010	0.136							
υ	1.024	1.075	0.167							

Cu170
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

PŘÍLOHA 4

17.5.2016 13:46:33

Atest - Q4 TASMAN

SampleNo		Popis vzorku									
		Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
↑		0.224	0.029	0.015	0.0085	0.321	4.906	4.634	0.068	0.0016	0.0037
□											
↓											
σ		0.0031	0.00071		0.00007	0.0010	0.023	0.037	0.0012	0.00010	
ν		1.384	2.448		0.824	0.312	0.469	0.798	1.765	6.250	
		Al	As	Cu							
		%	%	%							
↑		9.269	0.0099	80.51							
□											
↓											
σ		0.032	0.00010	0.074							
ν		0.345	1.010	0.092							

Cu170
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

PŘÍLOHA 5

17.5.2016 13:50:09

Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo										
	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
↑										
□	0.228	0.027	0.015	0.0080	0.317	4.917	4.658	0.068	0.0015	0.0034
↓										
σ	0.0035	0.0016	0.00071	0.00021	0.0016	0.012	0.050	0.00071	0.00010	0.00007
υ	1.535	5.926	4.733	2.625	0.505	0.244	1.073	1.044	6.667	2.059
	Al	As	Cu							
	%	%	%							
↑										
□	9.490	0.0096	80.26							
↓										
σ	0.016	0.00021	0.067							
υ	0.169	2.188	0.083							

Cu170
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

PŘÍLOHA 6

17.5.2016 13:53:06

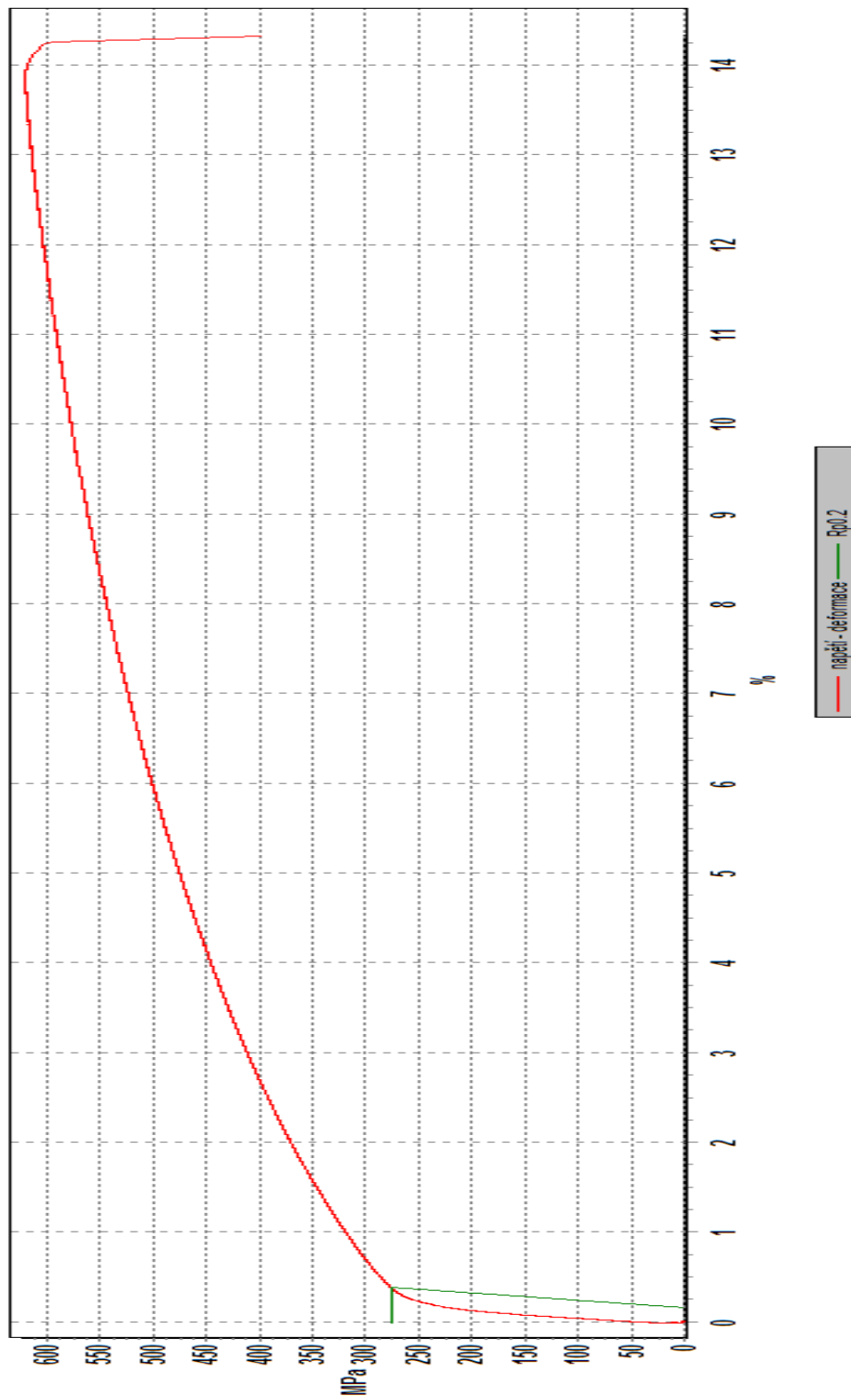
Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo										
	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
↑										
□	0.226	0.028	0.015	0.0079	0.320	4.827	4.661	0.069	0.0015	0.0035
↓										
σ	0.0044	0.00071		0.00012	0.0016	0.081	0.021	0.00071	0.00010	0.00007
ν	1.947	2.536		1.519	0.500	1.678	0.451	1.029	6.667	2.000
	Al	As	Cu							
	%	%	%							
↑										
□	9.437	0.0093	80.39							
↓										
σ	0.023	0.00021	0.091							
ν	0.244	2.258	0.113							

Cu170
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

PŘÍLOHA 7



PŘÍLOHA 8

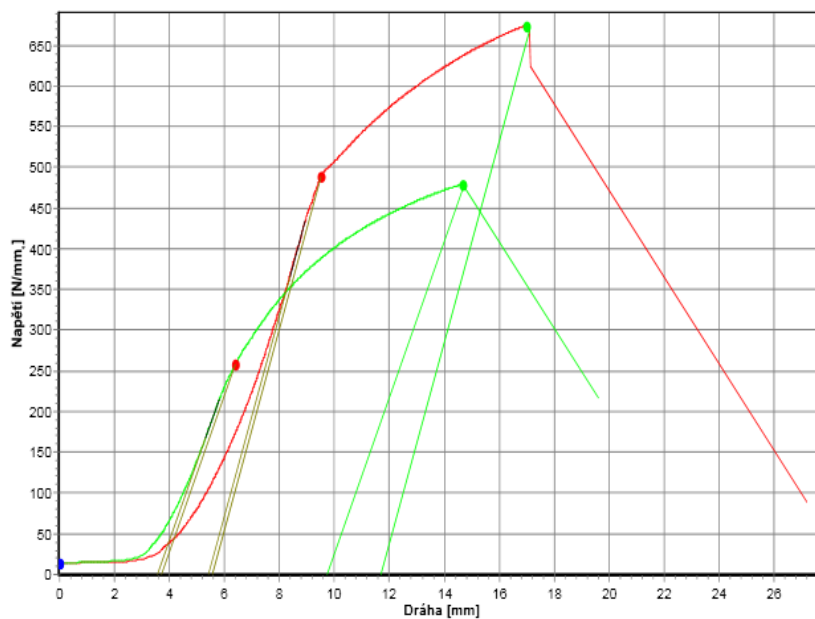
Zkoušející: Raur
 Materiál: CuAl10Fe5Ni5
 Název souboru: provozni bez TZ_03.mvl

Datum: 20.05.2016
 Čas: 10:18

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
 Typ stroje: ZD 20
 Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
 Kriterium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



Tabulka výsledků

OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
1	20.05.16	10:14	7	D	TZ	8,074	488	674	10,86	14,00
2	20.05.16	10:18	7	E	TZ	6,075	258	479	12,14	14,00

Statistika a = 0

	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00

PŘÍLOHA 9

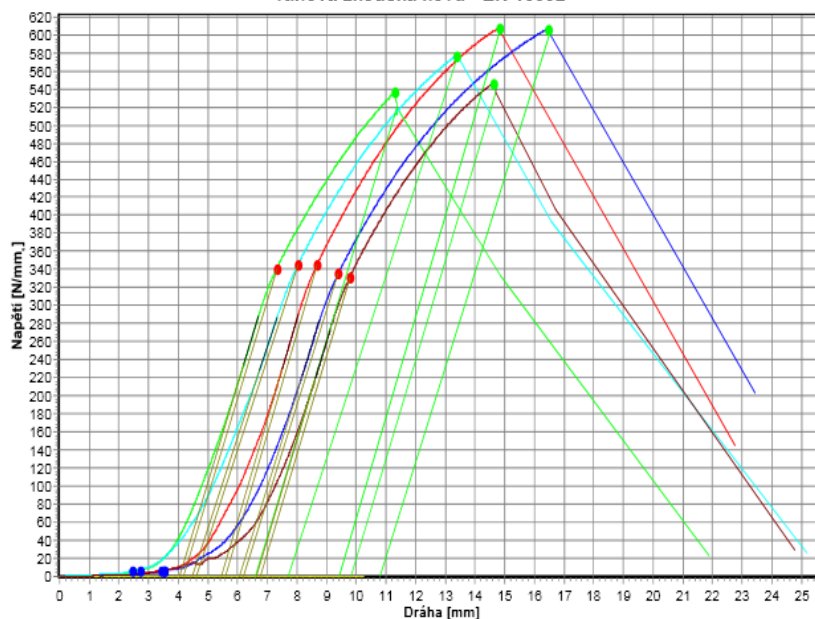
Zkoušející: Raur
Materiál: CuAl10Fe5Ni5
Název souboru: +Sr10 bez TZ_D6.mvl

Datum: 20.05.2016
Čas: 07:05

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje: ZD 20
Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
Kritérium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
1		20.05.16	06:46	VM	VZOREK 2	bez TZ	7,294	345	608	7,14	14,00
2		20.05.16	06:51	VM	VZOREK 3	bez TZ	6,976	341	536	4,43	14,00
3		20.05.16	06:56	VM	VZOREK 4	bez TZ	6,953	335	606	7,71	14,00
4		20.05.16	07:00	VM	VZOREK 5	bez TZ	0,000	0	0	0,00	14,00
5		20.05.16	07:02	VM	VZOREK 5	bez TZ	6,499	345	577	5,71	14,00
6		20.05.16	07:05	VM	VZOREK 6	bez TZ	7,337	331	546	5,29	14,00

Statistika a = 0

	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00

PŘÍLOHA 10

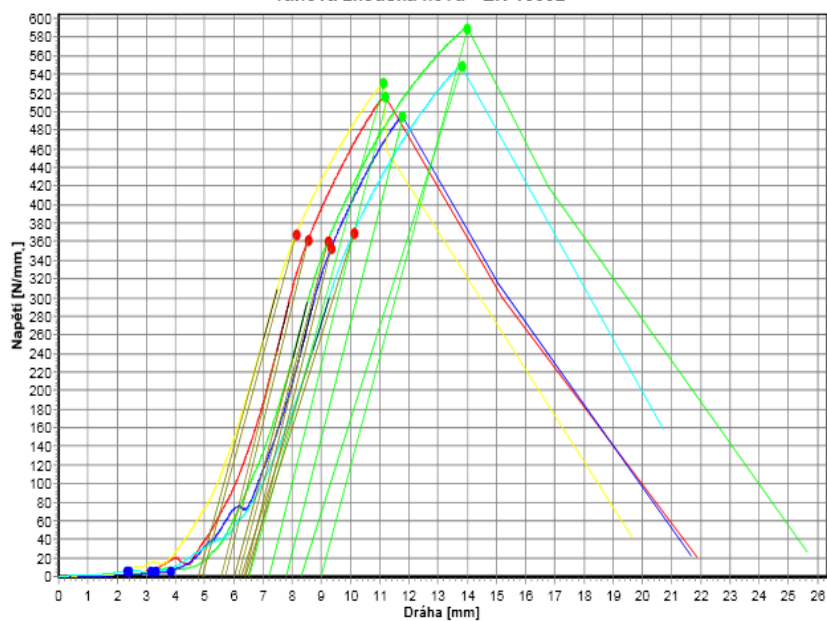
Zkoušející: Raur
Materiál: CuAl10Fe5Ni5
Název souboru: +2Sr10 bez TZ_05.mvl

Datum: 20.05.2016
Čas: 07:24

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje: ZD 20
Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
Kritérium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



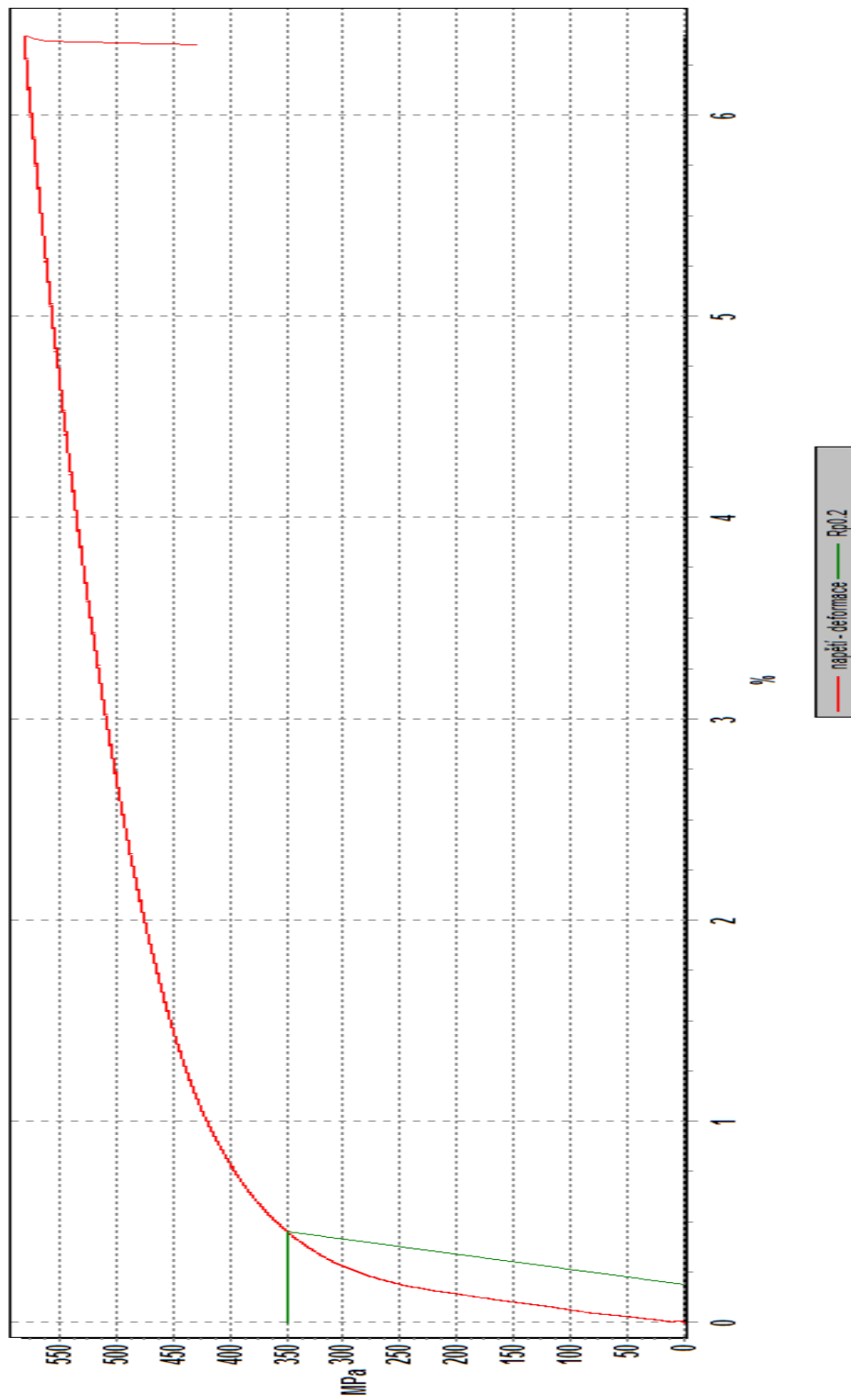
Tabulka výsledků

OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E kN/mm ²	Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	D mm
1	20.05.16	07:11	vm	8	bez TZ	8,334	362	516	3,00	14,00
2	20.05.16	07:14	vm	9	bez TZ	7,778	361	590	4,57	14,00
3	20.05.16	07:17	vm	10	bez TZ	8,241	354	495	2,57	14,00
4	20.05.16	07:21	vm	11	bez TZ	7,408	368	531	2,86	14,00
5	20.05.16	07:24	vm	12	bez TZ	6,624	370	549	3,86	14,00

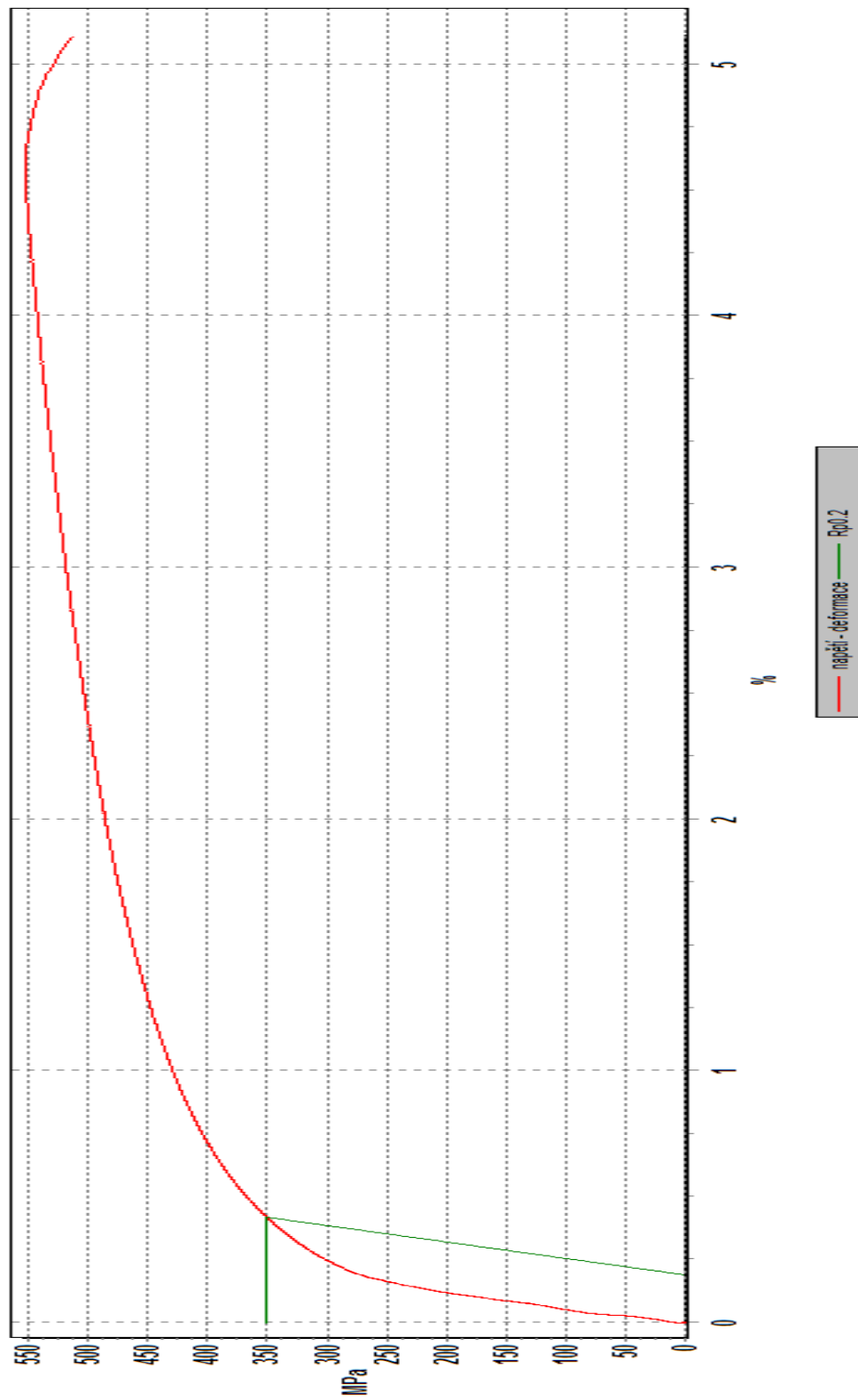
Statistika a = 0

	E kN/mm ²	Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	D mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00

PŘÍLOHA 11



PŘÍLOHA 12



PŘÍLOHA 13

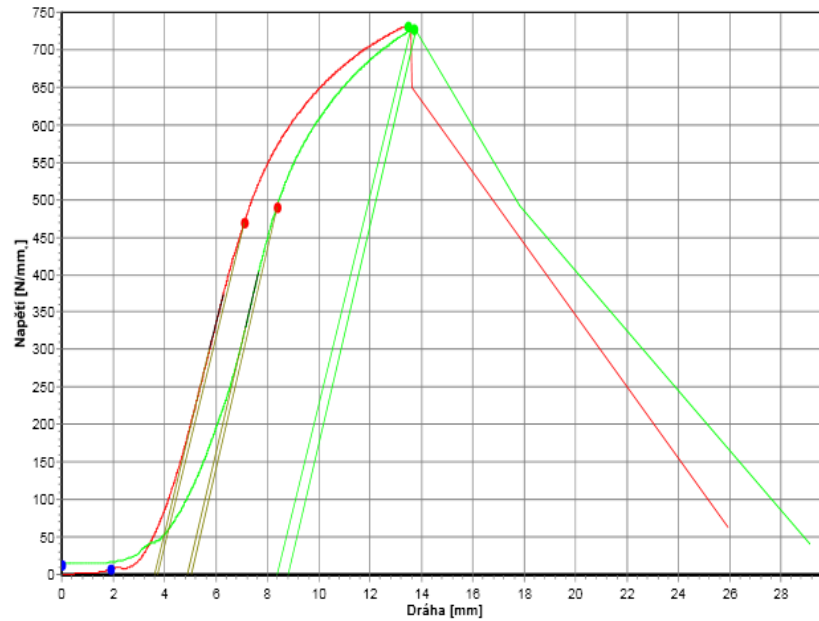
Zkoušející: Raur
Materiál: CuAl10Fe5Ni5
Název souboru: provozni TZ_02.mvl

Datum: 20.05.2016
Čas: 10:55

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje: ZD 20
Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
Kriterium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E	Rp0,2	Rm	A	D
							kN/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	mm
1		20.05.16	10:51	7	D	TZ	8,886	469	732	7,00	14,00
2		20.05.16	10:55	7	E	TZ	9,495	491	728	6,14	14,00

Statistika a = 0

	E	Rp0,2	Rm	A	D
	kN/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00

PŘÍLOHA 14

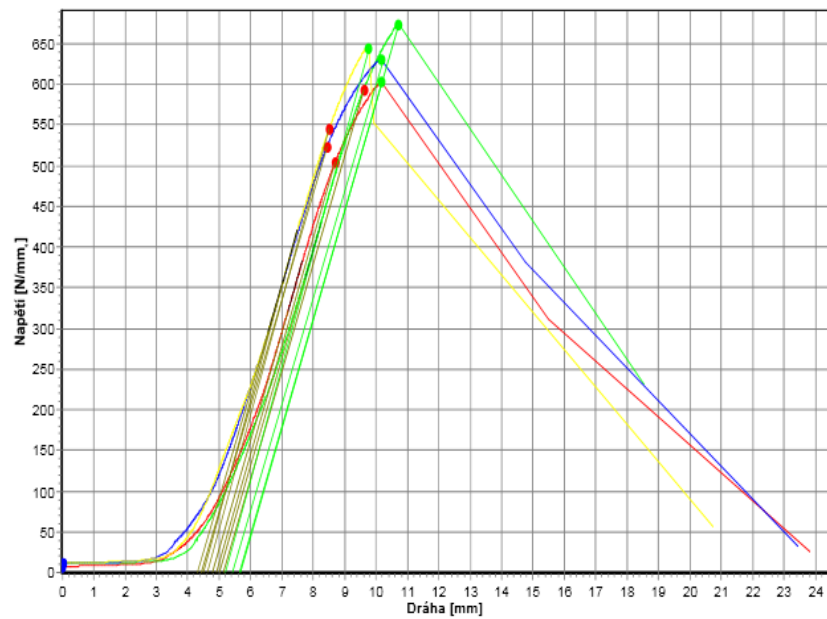
Zkoušející: Raur
Materiál: CuAl10Fe5Ni5
Název souboru: + Sr s TZ_04.mvl

Datum: 20.05.2016
Čas: 11:11

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje: ZD 20
Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
Kriterium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



Tabulka výsledků

OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E kN/mm ²	Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	D mm
1	20.05.16	11:00	7	2	TZ	8,648	504	603	1,86	14,00
2	20.05.16	11:04	7	4	TZ	8,601	593	674	1,71	14,00
3	20.05.16	11:08	7	5	TZ	8,421	523	631	2,14	14,00
4	20.05.16	11:11	7	6	TZ	9,066	546	645	2,00	14,00

Statistika a = 0

	E kN/mm ²	Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	D mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00

PŘÍLOHA 15

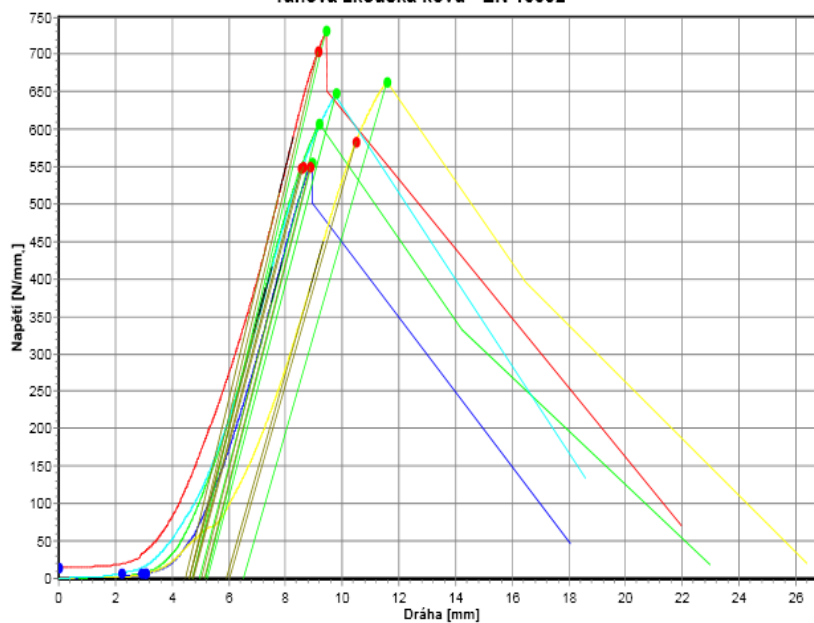
Zkoušející: Raur
Materiál: CuAl10Fe5Ni5
Název souboru: +2Sr s TZ_05.mvl

Datum: 20.05.2016
Čas: 15:08

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje: ZD 20
Zkušební rychlosti: V0 = 10 mm/min; V1 = 15 MPa/s
Kritérium ukončení zkoušky: Síla = 200 kN; dF = 50 %

Tahová zkouška kovu - EN 10002



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Tavba	Ozn.3	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
1		20.05.16	14:53		8	s TZ	10,010	704	733	0,86	14,00
2		20.05.16	14:57		9	s TZ	9,297	549	609	0,71	14,00
3		20.05.16	15:01		10	s TZ	9,641	550	556	0,71	14,00
4		20.05.16	15:04		11	s TZ	8,632	583	663	0,00	14,00
5		20.05.16	15:08		12	s TZ	9,186	551	648	1,14	14,00

Statistika a = 0

	E kN/mm ₂	Rp0,2 N/mm ₂	Rm N/mm ₂	A %	D mm
Střední hodnota	0,000	0	0	0,00	0,00
Standardní odchylka	0,000	0	0	0,00	0,00
Variační koeficient	0,000	0	0	0,00	0,00