

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: **Doktorský studijní program P 2301**

Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie 3911V016**

DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor

**VÝROBA MAGNETICKY MĚKKÝCH SLITIN
NA BÁZI FE-NI PRO ELEKTROTECHNICKÝ
PRŮMYSL**

Autor: **Ing. Kateřina Macháčková**

Školitel: **Prof. Ing. Jaroslav Koutský, DrSc.**

Akademický rok 2013/2014

Poděkování:

Ráda bych poděkovala především svému školiteli Prof. Ing. Jaroslav Koutský, DrSc. za vedení práce a cenné rady a připomínky k předkládané práci. Poděkování patří také vedoucímu katedry materiálů a strojírenské metalurgie Prof. Ing. V. Mentlovi, CSc. za podporu po dobu mého studia a ostatním kolegům z Katedry materiálů a strojírenské metalurgie fakulty strojní v Plzni. V neposlední řadě děkuji všem mým kolegům ze společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. a kteří mi pomáhali v průběhu řešení této práce za věcné připomínky.

Za velkou podporu děkuji svým přátelům a celé mé rodině.

Anotace:

Předmětem řešení disertační práce jsou legované slitiny FeNi a optimalizace technologie jejich výroby tak, aby se snížila zmetkovitost výroby a zlepšila výtěžnost vsázkového materiálu (jelikož cena tvoří 60% nákladů). Zároveň se v průběhu řešení hledá způsob zefektivnění výroby s omezením výskytu materiálových vad a snížení odpadu (a tím nákladnosti) jednotlivých taveb. Proto se soustředí především na výskyt povrchových vad odlitých ingotů, problémy s praskáním vývalků během tváření za tepla a v neposlední řadě je předmětem řešení také vývoj nových typů FeNi slitin.

Klíčová slova:

Slitiny Fe-Ni, zmetkovitost, ingot, vsázkový materiál, povrchové vady ingotů

Annotation:

The alloys of FeNi and the optimization of the production technology was the object of the dissertation. The reduction of the production scrap and the improvement of the utilisation of charging stock (the price creates 60% from total cost) was the main aim of this work. In the project we seek the way of effective production without the material defect and with the lower costs. The project is specialized on the appearance of the surface defect of ingots, on the problems of ingot cracking during hot rolling. Further the development of new type of FeNi alloys was also taken into account.

Key words:

Alloy Fe-Ni, defect of ingots, production technology, smelting, casting, cast

1. ÚVOD	6
2. NEŽELEZNÉ KOVY A JEJICH SLITINY	7
3. NIKL A JEHO SLITINY	9
3.1. NÍZKOLEGOVANÉ SLITINY	12
3.2. SLITINY NIKLU S WOLFRAMEM A CHRÓMEM	13
3.3. ZÁTAVNÉ SLITINY	13
3.4. MAGNETOSTRIKČNÍ SLITINY	13
3.5. SLITINY S NÍZKÝM BODEM MAGNETICKÉ PŘEMĚNY	13
3.6. SLITINY S NÍZKÝM SOUČINITELEM MODULU PRUŽNOSTI	14
3.7. SLITINY PRO PERMANENTNÍ MAGNETY	14
3.8. ODPOROVÉ A ŽÁRUVZDORNÉ SLITINY	14
3.9. SLITINY NI-FE A FE-NI (EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST)	15
4. VLASTNOSTI SLEDOVANÝCH SLITIN FE-NI	17
4.1. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	17
4.2. MECHANICKÉ VLASTNOSTI	21
4.3. VLIV PŘÍMĚSÍ NA SLITINY FE-NI	22
5. TECHNOLOGIE VÝROBY FE-NI SLITIN	25
5.1. TAVENÍ A LITÍ SLITIN	25
5.2. TVÁŘENÍ SLITIN ZA TEPLA A ZA STUDENA	28
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
6.1. OPTIMALIZACE TAVENÍ A LITÍ SLITIN FE-NI	33
6.1.1. VSÁZKOVÉ SUROVINY VYUŽITÉ PRO VÝROBU	33
6.1.2. VLIV ZMĚNY TVARU A SLILY STĚNY KOKIL NA PRIMÁRNÍ KRYSTALIZACI	38
6.1.3. VYUŽITÍ KERAMICKÝCH FILTRŮ PRO ZVÝŠENÍ MIKROČISTOTY ODLITKŮ	57
6.1.4. NÁVRH OPTIMÁLNÍCH TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ TAVENÍ A LITÍ	81
6.2. METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ PASŮ – ZPĚTNÁ VAZBA	113
7. DISKUZE VÝSLEDKŮ	121
8. ZÁVĚR	125
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	127
10. SEZNAM PUBLIKACÍ	130

1. Úvod

Téma doktorské práce je zpracováváno v součinnosti se zaměřením činností společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. Zmíněná společnost je předním výrobcem zejména válcovaných polotovarů z niklu, mědi a jejich slitin, které jsou určeny především pro elektrotechnický, elektronický a telekomunikační průmysl. V současné době společnost řeší také průmyslový výzkum a vývoj ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu nebo Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy. Výzkumné projekty společnosti se zejména zaměřují na řešení magneticky měkkých materiálů, jejich technologií výroby od odlévání až po jejich finální zpracování a zajištění potřebných technologií technologických, mechanických a fyzikálních vlastností.

Studiem magneticky měkkých materiálů se zabývala i tato práce, která byla zaměřena na technologické problémy výroby slitin Fe-Ni. Převážná část byla věnována materiálům PyMo4 (FeNi80Mo4), FeNi42, FeNi50 a nově vyvinuté slitiny FeNi47Cu5 určené pro zahraniční trh. Při výrobě polotovarů z těchto slitin je nutné inovovat a sledovat postupy při přípravě vsázky, tavení, rafinace a odlévání.

Cílem této práce je přispět k optimalizaci technologických postupů, tavení a lití výše uvedených slitin. Přínosem by pak mělo být snížení zmetkovitosti a zvýšení výtěžnosti drahého vsázkového materiálu.

2. Neželezné kovy a jejich slitiny

Využití neželezných kovů a jejich slitin je v dnešní době stále v předním zájmu všech průmyslově vyspělých států. Spotřeba těchto surovin má stále stoupající tendenci. V současné době je velká potřeba seznamovat se s vlastnostmi nově vznikajících slitin z neželezných kovů a hlavně jejich vhodné uplatnění. Vývoj těchto slitin je ovlivněn převážně rostoucími požadavky na jejich definované vlastnosti a s tím spojený průzkum pro využití těchto vlastností, které jsou v průběhu let u neželezných kovů a slitin zjišťovány. Dalším požadavkem je sledování jejich optimálního využití ve všech průmyslových odvětvích.

Slitiny z neželezných kovů můžeme rozdělit do dvou základních skupin a to slitiny pro široké (běžné) použití a slitiny pro omezené použití. První druh bývá normován (základní typy slitin) a je vyráběn prakticky ve většině průmyslově vyspělých zemí. Od těchto slitin je možno odvodit další varianty s různým složením, nebo přípustného množství nečistot, ale jejichž základní vlastnosti se výrazně nemění. Druhá skupina slitin pak představuje mnohem rozmanitější sortiment, který se do celostátních norem nezahrnuje. Tyto druhy slitin jsou většinou firemní a dodávají se zákazníkům dle předem sjednaných a dohodnutých podmínek. Složení těchto slitin se často mění a odráží v sobě výzkum nových typů slitin a požadavků různých průmyslových odvětví na jejich specifické a přesně definované vlastnosti.

Slitiny z neželezných kovů se označují na prvním místě značkou základního prvku slitiny, jehož obsah je zpravidla větší než 50% dále se pak přidávají chemické značky legujících prvků v pořadí dle obsahu s celým číslem, který vyjadřuje obsah prvku v hmotnostních procentech (např. FeNi47CU5 – obsah Ni = 47% a Cu = 5%). Všeobecně se obsah legujících prvků s obsahem do 1% číselně neuvádějí. Takto se značí většina slitin kromě slitin z mědi a zinku (tzv. Mosazi), které se označují značkou Ms a číslem, který označuje hmotnostní procento obsahu mědi ve slitině.

Největší část vyráběných slitin tvoří slitiny mědi, zatímco slitiny niklu se vyrábějí pro typické obory s využitím speciálních fyzikálních vlastností, slitiny odolné

proti korozi a slitiny používané za vysokých teplot.

U každé skupiny slitin dále rozeznáváme tzv. *slitiny tvárné*, které jsou vhodné pro další technologické zpracování tvářením (kování, válcování, tažení aj.) a na skupinu *slitin slévárenských* které jsou určeny pro další výrobu pouze tvarových odlitků. V této práci se zabýváme především speciálními slitinami na bázi niklu pro tvářením. Skupina těchto slitin zahrnuje slitiny niklu se zvláštními fyzikálními vlastnostmi.

Základní sortiment výrobků z neželezných kovů:

Mezi základní sortiment hutní výroby počítáme plechy, pásy, tyče profily a trubky. Rozměrově se tato výroba odvíjí od možností technologie výroby jednotlivých výrobních podniků. Speciálně u slitin niklu je sortiment výrobků značně omezen. Ve formách plechu se především vyrábějí tzv. *anody pro niklování*. Z konstrukčních slitin niklu se vyrábějí plechy a trubky jen výjimečně. Stěžejní výrobou u těchto slitin je hlavně výroba pásů popř. drátů. Šířky pásů se pohybují nejčastěji do šířky kolem 300mm u magneticky měkkých slitin nejčastěji pak v šířkách 30 až 60 a v tloušťkách od 0,1 do 0,3 mm. V současné době rostou požadavky na tloušťky pásů z těchto slitin pod 0,1 mm. Dráty ze slitin niklu se nejčastěji používají pro odporové dráty (NiCr20), dráty pro elektrotechniku, vakuovou techniku a jadernou energetiku pro těsnění tlakových nádob a parogenerátorů.

3. Nikl a jeho slitiny

Nikl, chemická značka Ni (Niccolium) je bílý, feromagnetický (Curieho teplota 356 °C), kujný a tažný kov. Slouží převážně jako součást různých slitin a k povrchové úpravě jiných kovů před korozí. Vzhledem k jeho toxicitě je jeho praktické využití postupně omezováno [2]. Nikl má výhodnou polohu v periodické soustavě prvků a dobře se leguje s kovy skupiny T. S těmito kovy, tvoří skupiny tuhých roztoků.

Atomové číslo	28	Hustota při teplotě tání	7,81 g/cm ³
Relativní atomová hmotnost	58,6934	Tvrдость	4 (Mohsova stupnice)
Elektronová konfigurace	[Ar] 3d ⁸ 4s ²	Registrační číslo CAS	7440-02-0
Skupenství	pevné	Specifické teplo	0,107 kJ/mol
Oxidační čísla	Ni ⁻¹ , Ni ⁺¹ , Ni ⁺² , Ni ⁺³ , Ni ⁺⁴	Atomový poloměr	1,24 Å
Teplota tání	1 455 °C, (1 728 K)	Skupenské teplo tání	17,2 kJ/mol
Teplota varu	2 913 °C, (3 183 K)	Skupenské teplo varu	375 kJ/mol
Elektronegativita (Pauling)	1,9	Slučovací teplo	429 kJ/mol
Počet přírodních izotopů	5	Specifický odpor při 20 °C	69,3 nΩ.m
Hustota	8,908 g/cm ³		

Tab.č. 1: přehled základních fyzikálně chemických vlastností niklu [2]

Nikl, je tvrdý, výborně lešitelný kov bílé barvy s nepatrným nádechem do zelena. Má měrnou váhu v litém stavu kolem 8,69 a ve stavu tvářeném 8,87. Bod tání čistého niklu je 1455 °C. Bod varu je udáván velmi různě a pohybuje se kolem 2732 °C. Součinitel tepelné roztažnosti se pohybuje za normální tepoty cca. 12,5x10⁻⁶. S rostoucí teplotou vzrůstá poměrně rychle a ž k teplotě magnetické přeměny, při níž má výrazné maximum, podle různých měření se pohybuje kolem 18 až 25x10⁻⁶. Při této teploty náhle klesne na 16 až 18x10⁻⁶ a při navyšování teploty je dále neměnná.

Curieho bod niklu leží na teplotě 356°C a u méně čistých kovů způsobují nečistoty snížení teploty přeměny asi na 320°C. Rovněž napětí může tuto hodnotu teploty přeměny mírně snižovat. U niklu při Curieho teplotě nedochází ke změně modifikace, neboť se při ni nemění krystalová mřížka, přesto se při této teplotě diskontinuálně mění většina fyzikálních i mechanických vlastností. Magnetické sycení činí při normální teplotě $4\pi I = 5600$ gaussm, koercitivní síla je malá a proto je nikl magneticky měkký.

Elektrická vodivost niklu je o něco málo větší než vodivost příbuzného železa. Specifický odpor čistého vyhřátého niklu při 20°C je 0,072 ohm.mm²/m ve stavu tvrdě taženém může být o něco více. Jeho teplotní součinitel do 100°C je 0,0067. Křivka elektrického odporu a jeho teplotního součinitele vykazuje při Curieho bodu zlom. Nápadně velký teplotní součinitel je totiž příčinou, že se niklu nikdy nepoužívá na regulační obvody, na ohřívací desky apod. [10]

Tepelná vodivost čistého niklu je při teplotě 0°C 0,218cal/cm u znečištěného se pak pohybuje mezi 0 – 100°C kolem 0,15 cal/cm. S teplotou se mění jen nepatrně z počátku se nepatrně snižuje a při Curieho bodě dosahuje minima 0,12 – 0,14 dále pak začíná velmi nepatrně stoupat.

Mez kluzu v tahu niklu dosahuje 148 Mpa, pevnost v tahu 462 MPa při tažnosti cca. 47%. Tvrdost niklu se pohybuje dle Brinela kolem 90 – 125HB. Po tváření a tepelném zpracování má čistý nikl pevnost kolem 190 – 240 Mpa s tažností kolem 40%. Mechanické vlastnosti niklu rostou s klesající teplotou a to cca. 1,5x je pevnost vyšší při –250°C. Yongův modul pružnosti v kluzu je $E_{Ni} = 210 \times 10^3$ N/mm². [10]

Slitiny niklu:

Slitiny niklu jsou obecně pevnější, tvrdší a houževnatější než jsou některé ze základních ocelí a také většina neželezných kovů. Z těchto důvodů jsou v rámci technologie výroby zaváděny zařízení pro válcování, kování a lisování s vyšší tuhostí. Jejich výroba je díky těmto faktorům ekonomicky náročnější.

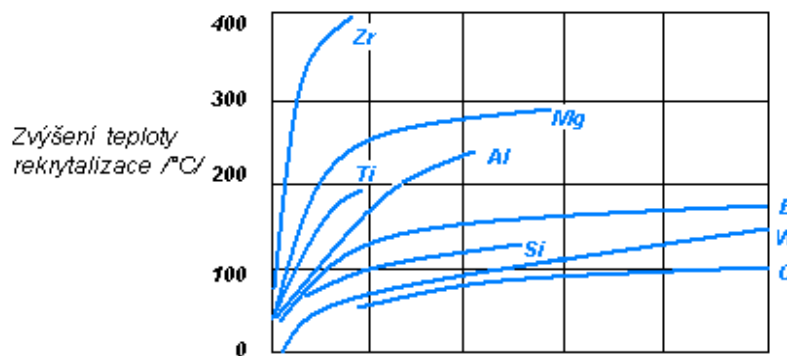
Slitiny na bázi niklu lze rozdělit na dvě základní skupiny a to dle jejich použitelnosti. V první řadě se jedná o skupinu, která obsahuje slitiny niklu, které jsou využívány pro elektrotechnický, elektronický a telekomunikační průmysl pro jejich významné fyzikální vlastnosti jako jsou elektrická a tepelná vodivost, magnetické vlastnosti, atd. Druhá skupina pak obsahuje niklové slitiny, které mají využití např. v energetickém, jaderném, leteckém průmyslu, pro jejich vynikající korozivzdorné, žáruvzdorné a žárovevné vlastnosti.

Pro podrobnější rozdělení niklových slitin se pak můžeme zaměřit na jejich fyzikální a mechanické vlastnosti, chemické složení a legující prvky. V tomto případě je základní rozdělení niklových slitin na:

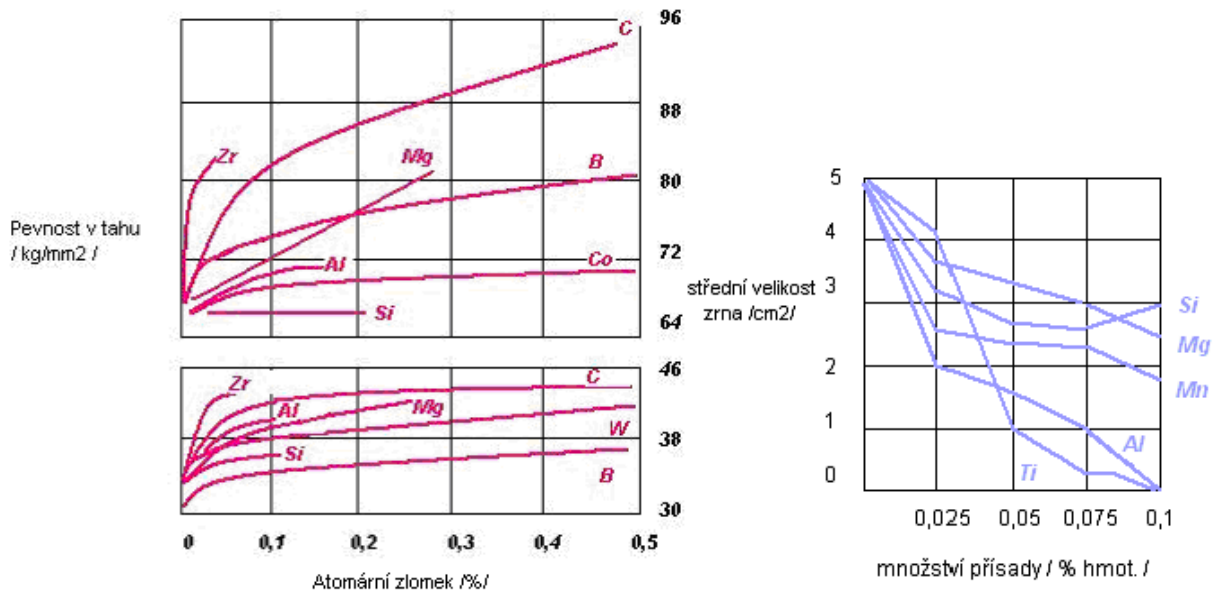
- Nízkolegované slitiny niklu
- Slitiny niklu s Wolframem a Chromem
- Slitiny typu Ni – Fe
- Zátavné slitiny niklu
- Magnetostrikční slitiny niklu
- Slitiny niklu s nízkým bodem magnetické přeměny (Curieův bod)
- Slitiny s nízkým tepelným součinitelem modulu pružnosti
- Slitiny pro permanentní magnety
- Odporové, žáruvzdorné a žárovevné slitiny
- Slitiny FeNi (použité v experimentální části)

3.1. Nízkolegované slitiny

Jedná se o slitiny s obsahem niklu do 99,5%. Druhy těchto slitin se používají např. v elektronice (katodový materiál apod.). Pro dosažení vhodných vlastností jsou legovány prvky, jako jsou Mg, Si, Al, Fe, W atd. Legování niklu těmito prvky do měrného objemu 0,5% má vliv na jejich pevnost v tahu v závislosti na rekrystalizační teplotě (viz obr.č.1 a č.2:)



Obr.č.1.: Vliv legování niklu jinými prvky na rekrystalizační teploty. [1]



Obr.č.2.: Vliv legování niklu jinými prvky na pevnost (žháno 800°C po 0,5h redukce 70%) v levé části a vliv modifikujících přísad na velikost zrna niklu v pravé části [1]

3.2. Slitiny niklu s wolframem a chrómem

Niklové slitiny s obsahem legujících prvků 20 až 30% W a 15 až 25 Cr mají velmi výhodné vlastnosti v oblasti vysokých teplot a vysokou odolnost proti oxidaci až do teplot 1200 °C. Tyto slitiny jsou obtížně tvařitelné.

3.3. Zátavné slitiny

Jsou slitiny s tepelnou roztažností, která je srovnatelná s tepelnou roztažností keramických materiálů a skla. Mezi nejznámější zátavné slitiny patří *Fe-Ni* (54%Ni) a *Fe-Ni-Cr* (49%Ni a 1%Cr, 42Ni a 6%Cr, 51%Ni a 1%Cr, 48%Ni a 6%Cr) další druhy slitin, které se používají také jako zátavné jsou např. *Kovar* (Fe+28%Ni a 18%Co), *Nilok* (Fe+28%Ni a 21%Co) atd.

3.4. Magnetostrikční slitiny

Tyto slitiny niklu jsou slitiny s fyzikální vlastností tzv. magnetostrikcí, která jim umožňuje schopnost měnit své rozměry v magnetickém poli, která je již dlouho známa jako Jouleův jev, ale teprve v poslední době se ve spojení s moderní mikroelektronikou využívá např. k přesnému a bezdotykovému měření vzdálenosti. [4] Do této skupiny patří slitiny typů Fe-Ni, Fe-Al, Ni-Co (8%Co a 18%Co), Co-Fe, Ni-Co-Cr atd.

3.5. Slitiny s nízkým bodem magnetické přeměny

V koncentraci měrného objemu kolem 30% Ni jsou slitiny Fe-Ni za normálních teplot nemagnetické, proto se jich hojně využívá pro účely magnetické kompenzace. Jde o slitiny, které se ještě dolegovávají např. manganem, chrómem apod. jako jsou slitiny *Thermoperm*, *R2799*, *Mutemp* tyto slitiny se ve střední Evropě vyrábějí pod názvem *Kompentherm 40,50,60,70 a 80* jejich bod přeměny je od 35 °C do 85 °C.

3.6. Slitiny s nízkým součinitelem modulu pružnosti

Jde o slitiny s přísadou chrómu, popř. s menším množstvím wolframu, titanu, berylia apod. Známé jsou tyto slitiny pod názvem *Elinvar*, *Chromovat*, *Nivarox* apod.

3.7. Slitiny pro permanentní magnety

Slitiny pro permanentní magnety se vyznačují omezenou schopností k tváření převážně pak slitiny Al-Ni-Co. Pro jejich zlepšení svařitelnosti se stále provádějí výzkumy legování dalšími kovy jako jsou cín, zirkon, titan atd. Mezi nejznámější slitiny pro výrobu stálých magnetů se používají např. *Viacalloy* (Fe+52%Co+9,5%V), *Permet* (70%Fe+30%Co), *Rermalloy* (Fe+12%Co+17%Mo), *INCO-Magnicol* (Ni + 10%Ti), *Bismanol* (20,8%Mn+79,2%Bi) atd.

3.8. Odporové a žáruvzdorné slitiny

Mezi odporové slitiny s teplotou použití do 1 100 °C patří slitiny s obsahem 80%Ni a 20%Cr. Jde o slitiny s označením např. *Brightray C*, a *S*, *Nichrom V*, *Kromore*, atd. Tyto slitiny vytvářejí složité fáze, které mají za následek zvyšování pevnosti těchto slitin za vysokých teplot např. γ - Ni₃(Al, Ti).

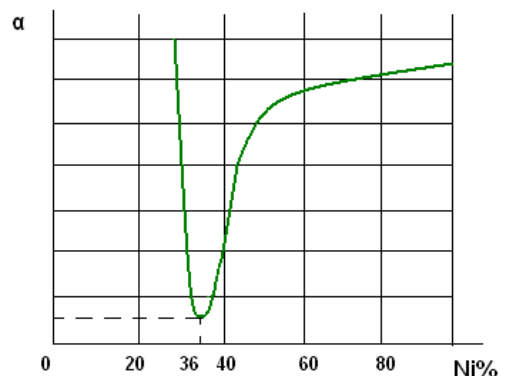
V případě žáruvzdorných a žárovevných slitin se jedná se především o slitiny s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi za vyšších teplot (až 815 °C). Používají se pro komponenty pro vysokotlaké lisovací zápustky a kovádla, do plynových a praních turbín. Jsou to slitiny např. typu *Nimonic 75* (20%Cr+0,05C+Ni zbytek), *Nimonic 80* (20%Cr+0,05%C+2,4Ti+1,2%Al+Ni zbytek), *Nimonic 100* (11%Cr + 20%Co + 1,2Ti + 4,5%Al+5%Mo+Ni zbytek), aj. Na vlastnosti těchto druhů slitin mají velmi nepříznivý vliv nečistoty jako jsou vizmut, olovo, telur, thalium atd.

Dalším příkladem odporových slitin jsou slitiny Cr-Ni-Co, Cr-Ni-Co-Mo, Ni-Mo (57%Ni+20%Mo+20%Fe nebo 60%Ni+28%Mo+5%F), Cr-Ni-Mo (např. 15%Cr +

58%Ni +16%Mo+5%W+5%Fe nebo 22%Cr+58%Ni+6,5%Mo+22%Fe+2%Nb) a Ni-Cr-Fe.

3.9. Slitiny Ni-Fe a Fe-Ni (experimentální část)

- Slitiny typu Invar - jsou to slitiny s 36% Ni zbytek Fe, tato slitiny má významné vlastnosti za velmi nízkých teplot a s velmi malým součinitelem tepelné roztažnosti (obr.č.3). Jeho nejčastější použití je při konstrukci masek obrazovek barevných televizorů, pro obaly hermeticky zapouzdřených součástek, pro konstrukci bimetalů s materiálem CuNi30. Používá se též pro výrobu toroidních jader, magnetických zesilovačů a pro měřicí přístroje a zařízení.



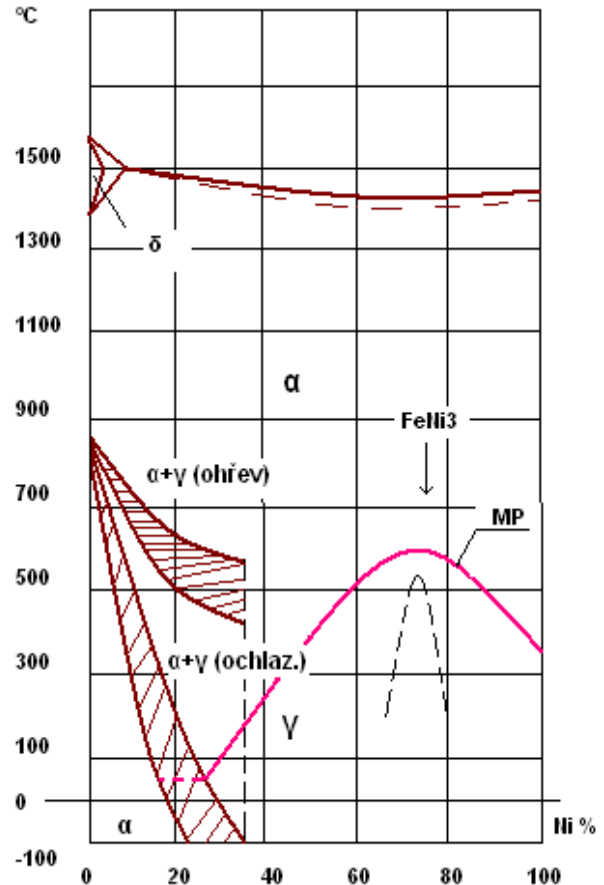
Obr.č.3: součinitel tepelné roztažnosti slitin Fe-Ni [10]

- Slitiny s vysokou magnetickou permeabilitou - souhrnně se tyto slitiny označují jako *Permalloy*. Jedná se především o dobře tvařitelné slitiny, které se zpracovávají válcováním až na tloušťky pod 0,1 mm. Vlastnosti těchto Ni-Fe slitin lze v širokém spektru optimalizovat dalším legováním prvky jako jsou Mo, Cu, Si atd. Abychom u těchto slitin dosáhli stálých hodnot permeability, legují se tyto slitiny např. Co, Mo nebo Cu (např. slitiny *Perminvar* - 45%Ni a 25%Co; *Mo-Perminvar* – 45%Ni, 25%Co a 7.5%Mo; *Isoperm* – 30%Ni a 11%Cu; atd.)

Velmi dobré hodnoty permeability po vhodném tepelném zpracování mají i slitiny značky *Nimalloy* (Ni-Mn-Fe).

Rovnovážný diagram slitin na bázi Fe-Ni s úplnou rozpustností v tuhém a tekutém stavu. V diagramu na obr.č. 4 má křivka likvidu zcela mělké minimum při

68%Ni a teplotě kolem 1436 °C [7]. Nikl krystalizuje v kubické plošně centrované mřížce a se železem tvoří řadu tuhých roztoků α , γ a δ . Přísada Niklu u těchto slitin rozšiřuje oblast γ a zapřičiňuje vznik ireverzibilních slitin, které v určité oblasti teplot mohou mít strukturu odpovídající tuhému roztoku γ , nebo α dle toho zda se do této oblasti dostali vlivem ohřívání, nebo ochlazování. Ke změně fáze $\gamma \rightarrow \alpha$ při ochlazování nedochází vlivem difúzních procesů, ale překlopením mřížky z kubicky plošně centrované γ na kubicky prostorově centrovanou α . Spodní hranice pro invertibilní slitiny je cca. 5%Ni a horní je cca. 35% Ni (nad touto hodnotou se již nemění typ krystalické mřížky). V oblastech které jsou bohaté na Ni (cca. 68%Ni) je pak zjišťována velmi uspořádaná struktura, která přibližně odpovídá složení FeNi_3 (intermetalická struktura).



Obr.č.4.: Rovnovázný diagram Fe-Ni podle P.D.Mericu [7]

4. Vlastnosti sledovaných slitin Fe-Ni

Vlastnosti slitin z neželezných kovů jsou ovlivněny stavem materiálu, čímž míníme výslednou strukturu slitiny. V průběhu technologie zpracování se u materiálů mění nejenom tvar a velikost zrna, ale také dochází k dalším významným změnám jako jsou např. změna uspořádání atomů, vznik různých stabilních a nestabilních fází, změna hustoty a také vznik a hromadění různých mřížkových poruch. Všechny tyto faktory ovlivňují výslednou strukturu, vlastnosti a jejich další případné změny v provozních podmínkách.

4.1. Fyzikální vlastnosti

Všeobecně jsou vlastnosti neželezných kovů a jejich slitin odvozené od vnitřní struktury atomů a vazby mezi nimi. Velký vliv na vlastnosti materiálů mají také nedokonalosti kovových krystalů. Některé fyzikální vlastnosti jsou na tyto změny závislé málo nebo dokonce nezávislé, jiné se strukturou podstatně mění a to i v širokém intervalu hodnot. V další části rozboru těchto fyzikálních vlastností bude zaměřena speciálně na fyzikální vlastnosti slitin na bázi niklu.

Mezi fyzikální vlastnosti zahrnujeme především ty, které jsou přímým projevem vnitřní stavby materiálu bez působení vnějšího mechanického namáhání. Mezi základní patří:

- Elektrická vodivost
- Termoelektrické jevy
- Tepelná vodivost
- Teplotní roztažnost
- Měrné teplo
- Magnetické vlastnosti
- Moduly pružnosti
- Teplota tání
- Měrná hmotnost
- Odolnost proti radičnímu poškození
- Šíření elastických vln
- Tenze par

Nejdůležitějšími parametry pro slitiny typu FeNi jsou hlavně vodivost, magnetické vlastnosti a mechanické vlastnosti (tvařitelnost).

FeNi slitiny a elektrická vodivost:

Měrná elektrická vodivost γ (S.m⁻¹) je elektrický náboj, který projde za jednotku času plochou kolmou ke směru pohybu náboje při jednotkovém spádu potenciálu. Podstatou elektrické vodivosti v látkách, které mají kovovou vazbu, je chování volných elektronů. [11].

Tato fyzikální veličina je převrácenou hodnotou tzv. měrného elektrického odporu ρ (Ω .m), který charakterizuje schopnost elektrických vodičů vést elektrický proud. Hodnota elektrického odporu je dána materiálem, tvarem i teplotou vodiče. Velikost odporu je pak především závislá na délce vodiče (přímo úměrně), na obsahu vodiče (nepřímosměrně), na látce vodiče (měrný elektrický odpor) a na teplotě. Zvyšování hodnoty měrného elektrického odporu je závislé na mnoha faktorech jako je např. změna tekuté fáze na pevnou (kdy zvýší 1,5 až 2 krát, následkem zvětšení objemu a rozpadem mřížky na malé oblasti s Krátkými vzdálenostmi). Dále se měrný odpor zvyšuje strukturními poruchami (vliv dislokací a hranic zrn), tvářením za studena (kdy se vlivem plastické deformace zvyšuje koncentrace všech poruch, zejména pak hustota dislokací), vlivem elastických deformací, vytvrzováním atd.

Elektrická vodivost je významná fyzikální vlastnost, která je v praxi často využívána. Převážně v oborech jako jsou elektronika a elektrotechnika, kde je elektrická vodivost materiálů rozhodujícím parametrem. Využívá se nejenom elektrické vodivosti, ale také elektrického odporu. Pro obecný přehled jsou v tabulce seřazeny hlavní prvky slitin dle měrné elektrické vodivosti. Tato vodivost může být ovlivněna řadou parametrů, proto jsou v tabulce č.1 uvedené hodnoty kovů běžné čistoty a při teplotě 20 °C.

Kov	γ (MS.m ⁻¹)	Kov	γ (MS.m ⁻¹)
Ag	63	Ni	14,6
Cu	60	Fe	10,3
Al	37,5	Nb	7,7
Mg	22,2	Cr	6,6
Mo	19,4	Zr	2,4
Zn	16,9	Ti	2,2
Co	16,1	Mn	0,5

V běžné praxi je potřeba vědět více než jen měrnou elektrickou vodivost neželezných kovů, vypovídající je také měrný elektrický odpor u technicky využitelných slitin z těchto neželezných kovů. V tabulce č.2. jsou uvedeny průměrné hodnoty elektrického odporu některých nejběžněji používaných slitin neželezných kovů. Tyto hodnoty jsou ještě o něco více ovlivněné chemickým složením a tepelným zpracováním než je tomu u čistých kovů.

Slitiny	ρ ($\mu\Omega$.m)	Slitiny	ρ ($\mu\Omega$.m)
titanu	1,7-0,9	hliníkové bronzy	0,19-0,09
niklu (žáropevné)	1,4-1,2	cínové bronzy	0,17-0,08
niklu (odporové)	1,1-0,7	speciální mosazi	0,07-0,06
zirkonoivé	0,7-0,4	jednofázové mosazi	0,06-0,03
niklu	0,6-0,4	hliníku	0,06-0,03
Cu-Ni	0,4-0,1	vodivé bronzy	0,04-0,02
platiny	0,3-0,15	stříbra	0,03-0,02

Tab.č.2.: Přehled měrného el. odporu u některých neželezných slitin při 20°C [1]

FeNi slitiny a magnetismus

Jednou z důležitých vlastností těchto slitin je magnetismus. Železo ve fázi γ není feromagnetické, zatím co Nikl je se stejnou strukturou feromagnetický až do teplot kolem 356 °C. V tuhém roztoku γ jak železa, tak niklu existuje rozhraní, které je vyznačené čarou magnetické přeměny (ozn. PM viz. obr.č.6.) Pod touto čarou jsou slitiny feromagnetické a nad ní paramagnetické. Maximum magnetické přeměny se pak nachází při obsahu Ni kolem 68% a udává u těchto slitin Curieho bod 615 °C, kdy je magnetická přeměna reverzní.

Slitiny s 30% Ni jsou charakteristické tím, že mají Curieovu teplotu mezi 40-200 °C, jejich permeabilita je v této oblasti s rostoucí teplotou prudce klesá. Nejvyužívanější jsou pro teplotní kompenzace obvodů permanentních magnetů.

Slitiny s obsahem 45-50% Ni (v našem případě zvolená slitina FeNi42) jsou charakteristické tím, že jejich permeabilita nezávisí na kmitočtu Hz až do velkých intenzit pole. Používají se pro pulzní trafa a relé.

Slitiny s obsahem 50-65% Ni slouží po vhodném zpracování (termomechanické nebo termomechanické) jako materiály s pravoúhlou hysterezní smyčkou nebo materiály s malou koercivitou a vysokou pulzní permeabilitou.

Slitiny s obsahem 70-81% Ni s dalšími prvky jako jsou (Mo, Mn, Cu, Nb, Ti) v našem případě je to zvolený materiál pro experimenty PyMo4 (FeNi80Mo4). Legury se přidávají tak, aby anizotropie a tvarová magnetostrikce byly současně nulové. Je to tedy ideální magneticky měkký materiál s malou koercivitou a velkou permeabilitou. Používají se pro přenos signálů s malou amplitudou v transformátorech a cívkách pro sdělovací elektrotechniku, pro magnetofonové hlavy a v magnetických systémech měřících přístrojů.

4.2. Mechanické vlastnosti

U slitin FeNi jsou všeobecně určované mechanické vlastnosti jako jsou tvrdost, pevnost, tažnost, dilatace apod. Mechanické vlastnosti popisovaných slitin se složením mění jen v úzkých mezích. Od čitého niklu stoupá pevnost přísadou železa strmě na hodnoty kolem 600 – 650 MPa v měkkém stavu (po žíhání) a to až do 40%Ni. Pak nastává mírný pokles a při méně než 30%Ni začíná pevnost opět stoupat. Tvárnost všech slitin je za studena velmi dobrá, ale tváření za tepla je mírně obtížné. Přísadou manganu nebo titanu se tvařitelnost za tepla zlepšuje, naopak uhlík jí zhoršuje.

S rostoucím obsahem legujících prvků jako jsou Co, Mo, Mn, Zr, Ti, Al aj. ve slitinách FeNi (např. slitina PYMo4, FeNi47Cu5, FeNi28Co17) dochází při tváření za tepla ke zpevňování a zvyšování meze pevnosti – což zapříčiňuje horší tvařitelnost slitin.

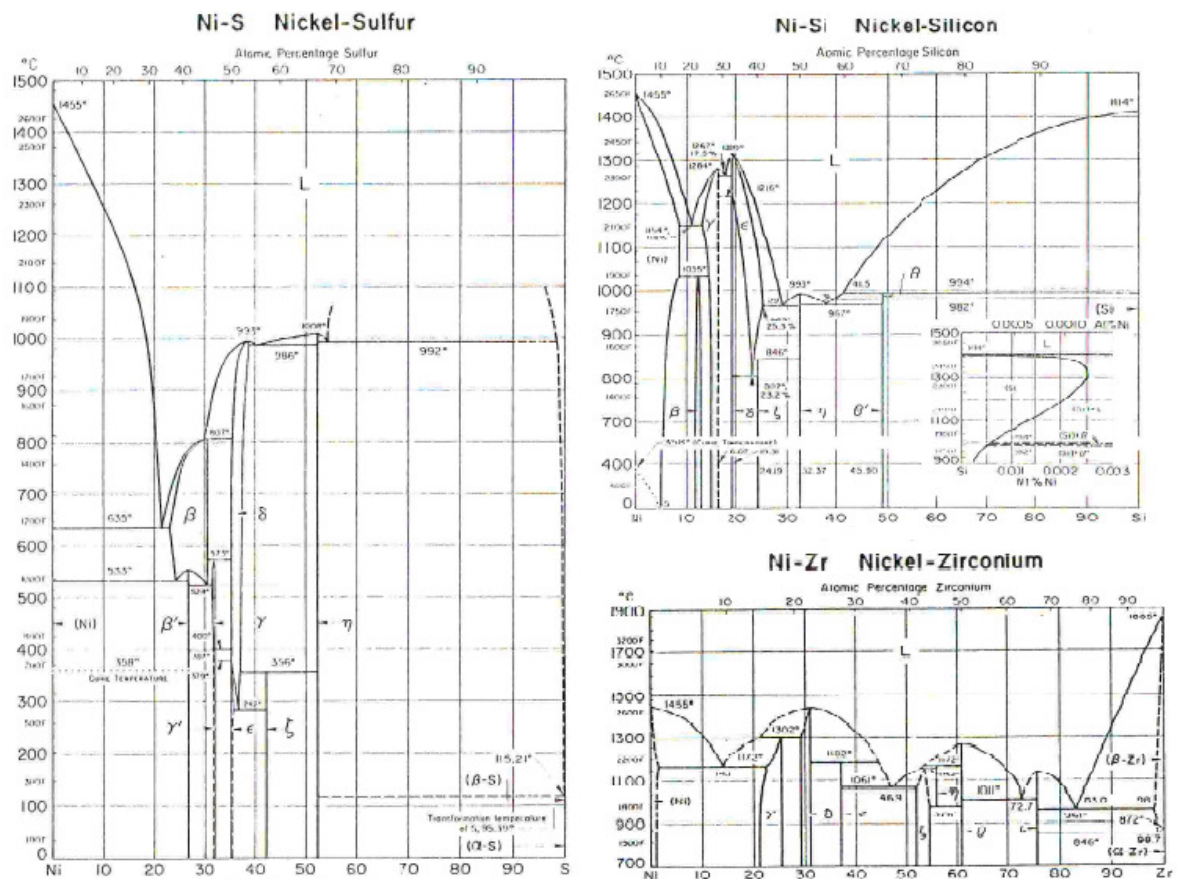
slitina	norma	informativní chemické složení%				měkký stav		tvrdý stav	
		Ni	Fe	Mn	Si	Rm (MPa)	A5	Rm (MPa)	A5
FeNi36 (invar)	GOST 10994	35.5-36.5	*	max.0.5	max. 0.25	*	*	930	*
FeNi41	ASTM F30	40.0-42.0	*	max. 0.8	max.0.3	490	30	740	2
FeNi42	GOST 10994	41.5-43.0	*	max. 0.4	max. 0.3	490	23	470	*
FeNi47Cu5	GOST 10994	46.0-48.0	*	max. 0.4		610	20	930	*
FeNi50	GOST 10994	49.0-50.5	*	0.3-0.6	0.15-0.30	540	*	590	3
FeNi28Co17 (kovar)	ASTM F15	29.0-29.6	*	max. 0.5	16.5-17.0	570	*	700	*
FeNi80Mo4 (PYMo4)	GOST 10994	78.5-80.0	*	0.3-0.6	3.0-3.4	550	20	850	*

Tab.č.3. Mechanické vlastnosti a chemické složení základních slitin FeNi

4.3. Vliv příměsí na slitiny Fe-Ni

- **Fosfor** – zužuje oblast tuhého roztoku γ a se železem tvoří fosid Fe_3P . Fosfor patří k prvkům, které při tuhnutí taveniny silně segregují což způsobuje lámavost za tepla a pokles houževnatosti. Obsah fosforu ve slitinách Fe-Ni nesmí překročit obsah 0,01%
- **Arsén** – ve slitinách tohoto typu se vyskytuje především ve formě Ni_3As_2 jeho maximální obsah ve slitinách nesmí překročit 0,001% (podobně je tomu také u prvků jako jsou olovo, antimon, bismut)
- **Síra** – tento prvek se ve slitinách rozpouští jen velmi omezeně. V tuhém stavu Ni slitin je prakticky nerozpustná (viz.obr.č.5) a tvoří eutektikum o složení Ni_3S_2 , tato struktura je při tváření za tepla zcela netvárná a způsobuje křehkost za tepla. Maximální obsah síry ve slitině nesmí překročit hodnotu 0,005%, jinak dochází k ukládání sulfidů po hranicích zrn a porušení soudržnosti. Vliv síry lze zmírnit přidáním manganu a hořčíku (kdy vzniknou těžko rozpustné sulfidy, které vyplavou do strusky)
- **Kyslík** – je ve slitinách Fe-Ni přítomen jako NiO, kdy tvoří eutektikum s Ni s teplotou tání 1438°C a eutektikum s Fe s teplotou tání 1529°C . Kyslík v těchto slitinách zapříčiňuje snížení houževnatosti.
- **Křemík** – se ve slitinách Fe-Ni rozpouští jen částečně, váže na sebe kyslík čímž uvolňuje mangan pro reakci se sírou. Obsah křemíku ve slitinách se doporučuje 0,25-0,3% jinak nepříznivě ovlivňuje Curierův bod (výrazné snížení). Dále pak částečně zvyšuje pevnostní vlastnosti na úkor houževnatosti.
- **Mangan** – je ve slitinách Fe-Ni rozpustný a má velmi pozitivní vlastnosti na mechanické. Jeho obsah ve slitinách zlepšuje mez pevnosti a kluzu aniž by výrazně snižoval tažnost a houževnatost. Dále pak zlepšuje tepelnou vodivost.

- **Vodík** – čím je vyšší obsah Ni (a s rostoucí teplotou) ve slitinách Fe-Ni tím více se ve slitině rozpouští vodík, který se při tuhnutí zpětně vylučuje a má za následek pórovitost odlitku. S niklem tvoří vodík za vyšších teplot hybridy NiH nebo NiH₂.
- **Uhlík** - je v roztaveném niklu velmi dobře rozpustný a tvoří eutektikum při teplotě 1314°C. Tvořený karbid Ni₃C je stabilní v tavenině i při vysokých teplot. Při překročení obsahu 0,2% dochází k nepříznivému ovlivnění, protože vylučuje po hranicích zrn krystalky grafitu, které mají za následek porušování soudržnosti a nižší pevnost za vyšších teplot.



Obr.č.5.: Rovnovážné diagram Ni – S a příklad diagramů s legujícími prvky Ni – Si a Ni – Zr [8]

Zvolené slitiny ze skupiny „ slitiny Fe-Ni “ pro experimentální část této práce jsou typu PyMo4 (FeNi80Mo4), FeNi50 (50%Ni+0,35Mn+Fe zbytek) a FeNi42Mn0,05 (slitina FeNi42 se sníženým obsahem Mn na max. 0,05%). Všechny zvolené slitiny jsou tzv. magneticky měkké materiály, které mají uplatnění v elektronické a elektrotechnickém průmyslu. Jsou zpracovávány ve formě pasů, plechu a fólií a to z počátečního odlitého ingotu přes válcování za tepla s konečným válcováním za studena a mezioperačním tepelným zpracováním. Všechny tyto kroky technologie výroby mohou významně ovlivnit jejich mechanické a fyzikální vlastnosti. V této práci se u těchto slitin zaměřujeme především na fyzikální vlastnost – magnetismus u tloušťky pasů 0,35 mm.

5. Technologie výroby Fe-Ni slitin

5.1. Tavení a lití slitin

Pro tavení niklových slitin jsou využívány elektrické středofrekvenční indukční pece a to v provedení vakuovém nebo otevřeném. V případě tavení a lití niklových slitin lze použít také jiných druhů tavicích agregátů, jako jsou např. obloukové pece menších obsahů (do 5t) nebo rotační pece olejové v obsazích kolem 1,5 – 3t.

Niklové slitiny pro tváření se nejčastěji odlévají do kokil (obr.č.9). Slévárenská technika je obdobná jako u odlévání ocelí. Při tavení je potřeba kov dostatečně chránit, aby nedocházelo k rozpuštění uhlíku, síry, kyslíku a vodíku. To se děje při tavení v malém množství krytím lázně – boraxem a při lití větších objemů vápenatou struskou. Vytavený kov je nutno desoxidovat. U niklových slitin obecně není vhodné k desoxidaci používat fosfor, neboť způsobuje křehnutí. Nejčastěji je u těchto slitin



používán pro desoxidaci mangan v množství kolem 0,5%. V případě použití hořčíku jako desoxidovadla dochází při jeho reakci s taveninou k rozstříku, proto se používá při desoxidaci až na závěr a to v malém množství (předslitina NiMg15) pro odstranění posledních zbytků oxidů a sulfidů. Jeho přidávané množství může být jen tolik kolik je právě nutné k dokonalému vyčištění taveniny. Jeho nadbytek zhoršuje mechanické vlastnosti slitin, způsobuje houstnutí taveniny a tím je její špatnou tekutost (pro zlepšení slévatelnosti lze přidat cca. 1,5% křemíku). [10]

Obr.č.9.: Hematitové kokily pro odlévání niklových slitin v KORO, a.s.

Provedení forem pro odlévání niklových slitin je podobné jako u ocelí (nejčastěji litinové hematitové kokily) a podobná je i jejich míra smrštění, která se pohybuje kolem 2%.

Všeobecně uváděná technologie tavení niklových slitin je uvedena v mnoha odborných publikacích, článcích a literatur. V této práci se zaměříme na technologii tavení slitin FeNi použitých v experimentální části práce a to na vakuové peci, otevřené peci s možností využití vakua SF250 a otevřené peci SF 1000.

Tavení a lití slitin na které se zaměřuje tato práce probíhá ve společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. a jedná se o tavení slitin FeNi na otevřených elektrických středofrekvenčních indukčních pecích SF 1000 (obr.č.10) nebo SF 250 a na elektrické vakuové peci KOPP s obsahem 1000kg (obr.č.10). Tavící pece jsou vyzdívané kyselou vyzdívkou SURACIT nebo zásaditou vyzdívkou LOVINIT a nálevky pro odlévání jsou vyzděné žárobetonem. Teplota tavení a lití FeNi slitin se pohybuje v rozmezí teplot 1500 – 1550 °C. Tavenina se odlévá horem do přehřátých litinových hematitových kolil s vnitřní průměrem v rozmezí 180 - 265 mm, váhou cca. 500kg.

Při tavení FeNi slitin se ve společnosti využívá vysoké procento vratného technologického odpadu, proto je zde soustředěna pozornost především na vysokou kvalitu provedení rafinace taveniny. Dobré provedení rafinace taveniny zaručí co nejčistší licí strukturu, která je základem pro úspěšné válcování za tepla apretovaného čepu a tím zajištění konstantních hodnot pro další experimenty s magnetickými vlastnostmi těchto slitin. Desoxidace FeNi slitin je různá dle použití tavebního agregátu.

V případě vakuové pece KOPP se jako desoxidovadla nejčastěji používají Mn a Si (také jako legující prvky), které jsou přidávány do taveniny v první fázi desoxidace. Na závěr tavby se před odlitím používá jako desoxidovadlo předslitina NiMg15.

Na otevřené elektrické indukční peci probíhá desoxidace FeNi slitin dle dvou různých technologických postupů:

- **Desoxidace (Mn-Si-Al)** – při této desoxidaci se po natavení slitiny v několika krocích přidává nejprve mangan a křemík (také jako legující prvky), v dalším kroku hliník a na závěr před odlitím předslitina NiMg15.
- **Desoxidace plněným profilem** – při této desoxidaci se především využívá aktivní vápenaté strusky a jako desoxidovadlo a plněný ocelový profil FeSiCa. Po natavení slitiny je nejprve hladina zasypána aktivní vápenatou truskou, poté následuje desoxidace taveniny manganem, křemíkem a opětovnému zasypání hladiny struskou. V poslední fázi před odlitím je slitina desoxidována plněným profilem FeSiCa.



Obr.č.10.: Otevřená středofrekvenční tavící pec SF 100 v levé části a vakuová pec KOPP v pravé části obrázku

U taveb na otevřených pecích jsou prováděny kovací zkoušky pro předběžné zjištění tvažitelnosti za tepla. V případě špatné kovací zkoušky se některá z částí desoxidace opakuje. Chemická analýza slitin se provádí v průběhu tavy na kvantometru ARL.

5.2. Tváření slitin za tepla a za studena

Niklové slitiny se přetavením, které je spojené s kvalitní odsířením a desoxidací, stávají dobře tvářitelnými za tepla i za studena. Tyto slitiny lze pak za tepla dobře válcovat, kovat i lisovat a za studena dobře válcovat, táhnout popř. jinak zpracovávat.

Odlité ingoty ve formě desky nebo čepu se válcují a kovou nejlépe při teplotách kolem 1250 °C. Spodní hranice pro tváření za tepla se pohybuje kolem 850 °C při poklesu pod tuto teplotu je nutný pro další zpracování opakovaný přehřev. Zpracování niklových slitin je podobné jako u zpracování ocelí, jen s potřebou větších sil, protože niklové slitiny mají při vyšších teplotách větší mez pružnosti.

Teplné zpracování niklových slitin (žiháním) se provádět v neutrální atmosféře, aby nedocházelo k jejich oxidaci (vznikající okuje se obtížně odstraňují). Pro jejich ohřev je využíváno krokové odporové pece FURNAX. Při žihání by neměly niklové slitiny přijít do styku s plyny, které obsahují síru (dochází tím k znehodnocení). Žihací teplota se pohybuje obvykle v rozmezí 700-800 °C. Rekrystalizace intenzivně zpevněného kovu začíná již při teplotách 430 °C. K zamezení hrubnutí zrna je důležité, aby prodleva v peci na teplotě byla co nejkratší.

Tváření za studena je u niklových slitin obdobné jako u ocelí a vyžaduje rovněž větších sil jako u tváření za tepla. Lisovací nástroje mohou být z kalené oceli, legované, z litiny nebo např. z tvrdého bronzu. [10]

Ve společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. jsou zavedené technologie používané pro výrobu těchto polotovarů je následující:

- Apretace odlitých ingotů – po odlití slitin FeNi, kde se používá z ekonomického hlediska lití horem, dochází k odříznutí hlavové a patní části ingotu a následně pak apretace celého povrchu ingotu (dále čep – obr.č.11).



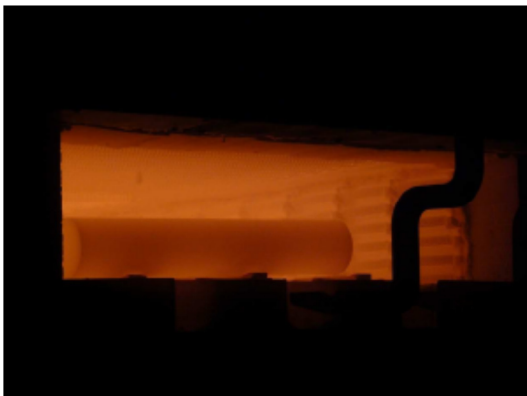
obr.č.11.: Apretované ingoty před ohříváním a tvářením

- Ohřev apretovaných čepů – apretované čepy ze slitin FeNi jsou ohřívány v krokové peci FURNAX (obr.č.12), kde dojde k ohřátí čepů na teplotu 1200 °C s prodlevou na teplotě 3-4 hodiny dle typu slitiny. Ohřev čepů probíhá bez ochranné atmosféry a dochází tak k oxidaci povrchových vrstev čepů, což může ovlivňovat výslednou kvalitu válcovaných pasů



obr.č.12.: Elektrická pec FORNAX pro ohřívání čepů před válcováním

- Válcování čepů za tepla – válcování ohřátých čepů za tepla je realizováno na válcovací stolici DUO Škoda na tloušťku pasu 9mm a šířku pasu max. 330 mm (při použití plochých kokil). (obr.č.13)



obr.č.13.: Válcovací stolice DUO Škoda v pravé části obrázku a ohřátý čep před vložením do válcovací stolice

- Frézování pasů po teplém válcování - pro odstranění oxidických vrstev, které vznikají při ohřevu v krokové peci FORNAX (vlivem oxidační atmosféry) jsou pasy z obou stran frézovány na frézovacím stroji Škoda a to z obou stran cca. 0,5 mm (tedy na konečnou tloušťku pasu před válcováním za studena 8mm a svinutý – obr.č.14) a svinuty do svitků s vnitřním průměrem 500 mm.



Obr.č.14.: Pohled na vyfrézované pasy v tloušťce 8 mm po teplém válcování

- Válcování pasů za studena – válcování za studena je realizováno na dvou zařízeních. Z počáteční tloušťky pasů (tj. 8 mm) probíhá válcování za studena na válcovací stolici KVARTO (obr.č.15) až na konečnou tloušťku pasu 2,5 mm. Dále následuje svařování pro dosažení větších délek, lepší využití kapacity výrobních strojů, materiálu a pro další zpracování (např. žihání v ochranné atmosféry vodíku v bubnové peci). Na válcovací stolici Kvarto Škoda se pokračuje až do finálních tloušťky pasu pod 1,2 mm. Následující válcování za studena po tloušťky 1,2 jsou realizovány na 20ti válci Škoda (obr.č.16), kde se můžeme dostat až na výslednou tloušťku pasu (fólie) 0,08 mm (při válcování za studena se využívá mezioperačního žihání v ochranné atmosféře vodíku v průběžné žihací peci EBNER dle válcovaného materiálu).



Obr.č.15.: Válcovací stolice KVARTO ŠKODA ve společnosti KORO, a.s.



Obr.č. 16.: Válcovací stolice dvacetiválec Škoda ve společnosti KORO, a.s.

6. Experimentální část

V rámci disertační práce byly stanoveny následující cíle:

- **Optimalizace tavení a lití slitin Fe-Ni**
- **Metodika vyhodnocování odlitků – zpětná vazba**

6.1. Optimalizace tavení a lití slitin Fe-Ni

V průběhu řešení optimalizace tavení a lití slitin Fe-Ni bylo potřeba stanovit několik hledisek, kterými je možno ovlivnit zvýšení kvality, čistoty a homogenity výsledných polotovarů pro elektrotechnický průmysl – pasů tloušťky 0,3 mm.

- **Přesně specifikovat vsázkové suroviny**
- **Změna tvaru a síly stěny kokily pro úpravu primární krystalizace**
- **Využití keramických filtrů pro možnost zvýšení mikročistoty**
- **Návrh optimálních technologických postupů tavení a lití**

6.1.1. Vsázkové suroviny využité pro výrobu

Při výrobě polotovarů slitin FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu (nově zaváděná slitina do výroby společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. – dále jen KORO) jsou při tavně používány tyto základní vstupní suroviny:

Ni – katody (vyráběné elektrolyticky)

Cu – katody (vyráběné elektrolyticky)

Fe – sochory (behanit)

Při legování jsou pak dále používané střihané katody Mn, kusový Si a kusová předslitina NiMg15. Předslitina NiMg15 je vyráběná přímo ve společnosti KORO odléváním z Ni katod a kusového Mg. Pro dodávku vstupních surovin je stanoveno chemické složení a maximální obsahy nečistot:

Ni Katody															
Předpis (norma)	Ni (%)	Fe (%)	Si (%)	Cu (%)	Co (%)	Mg (%)	C (%)	S (%)	Zn (%)	Bi (%)	Sb (%)	As (%)	Sn (%)	Cd (%)	Pb (%)
	min.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
TPS001/97	99,93	0,01	0,002	0,02	0,1	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004

Tab.č.4. Maximální obsahy nečistot Ni- katod

Fe sochory						
Předpis (norma)	Si (%)	Mg (%)	C (%)	S (%)	P (%)	Al (%)
	max.	max.	max.	max.	max.	max.
ČSN 41 2014	0,15	0,45	0,06	0,02	0,02	0,02
střed.složení	0,08	0,35	0,04	0,01	0,01	0,036

Tab.č.5. Maximální obsahy nečistot Fe sochorů

Cu Katody										
Předpis (norma)	Cu (%)	Fe (%)	Bi (%)	Sb (%)	As (%)	Pb (%)	S (%)	Sn (%)	Ag (%)	O2 (%)
	min.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
EN 1978	99,95	0,001	0,0002	0,0004	0,0005	0,0005	0,0015	0,0005	0,0025	0,02
střed.složení		0,0005	0,00005	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,0001	0,0012	

Tab.č 6. Maximální obsahy nečistot Cu- katod

Kusový Mn									
Předpis (norma)	Mn (%)	As (%)	Ni (%)	Pb (%)	Cu (%)	Si (%)	C (%)	S (%)	Cl (%)
	min.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
ČSN 42 2291	99,9	0,03	0,0070	0,006	0,005	0,02	0,02	0,05	0,005
střed.složení	99,9			0,006	0,004	0,02	0,01	0,04	

Tab.č.7. Maximální obsahy nečistot Mn- katod

Si lámané housky					Mg housky						
Předpis (norma)	Si (%) min.	Fe (%) max.	Al (%) max.	Ca (%) max.	Předpis (norma)	Mg (%) min.	Fe (%) max.	Ni (%) max.	Mn (%) max.	Si (%) max.	Cu (%) max.
TPS001/97	98	0,7	0,7	0,6	DIN 17 800	99,8	0,05	0,002	0,1	0,01	0,02
střed.složení	98,7	0,5	0,4	0,3	střed.složení	99,9	0,03	0,001	0,02	0,01	0,01

Tab.č.8. Maximální obsahy nečistot Si a Mg housek

Do jednotlivých vsázek je vsazován také vlastní odpad z výroby (hlavy a paty ingotů, třísky a odstřížky pasů) FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5. Vstupní suroviny jsou uvolňovány do výroby podle atestů dodaných výrobcem materiálu. Analýzy surovin jsou prováděny u každé desáté dávky.

Neshody v oblasti nečistot byly zjištěny v obsahu Pb u manganu. Materiál byl do výroby i přesto uvolněn, protože 0,002-0,003% Pb vzhledem k množství legovaného materiálu s velkou pravděpodobností neovlivňuje kvalitu výrobku. Další neshoda byla zjištěna u obsahu Si v hořčíku i v tomto případě byla surovina do výroby uvolněna, vzhledem k tomu že vlastní technologie předepisuje legování křemíkem.

Jak již bylo zmíněno, při výrobě pasů pro elektrotechnický průmysl s tloušťkou 0,3 mm a více je třeba předpokládat vysoký vliv obsahu nečistot v použité vsázce na výslednou homogenitu a mikrostrukturální čistotu výstupního polotovaru (ingotu). U tohoto sortimentu je při výrobě dosahovaná předváha cca. 2,4 – 2,7 t na 1 t finální výroby. Za těchto předpokladů vzniká značné množství výše zmiňovaného technologického odpadu ve formě odřezaných hlav a pat ingotů, třísek po apretaci ingotů, jemných třísek po frézování vývalků, odstřížky při podélném a příčném dělení plechů a pasů. Nesmíme také zapomenout na část odpadu, který vzniká vyzmetkáním ingotů či vývalků při výrobě. Všechny tyto technologické odpady musí být vhodně upraveny a vráceny zpět do výroby jako vstupní suroviny vzhledem k vysoké ekonomické náročnosti (vysoká cena Ni).

Výše uvedené poznatky o původu cca. 80% vstupních surovin, kdy pouze

zbývající část 20% tvoří čisté suroviny (Ni katody, Cu katody a Fe-behanit), byly hlavním předpokladem, proč by měla být řešena problematika závislosti kvality finálních polotovarů na používaných vstupních surovinách při výrobě.

První metodou řešení problematiky vlivu kvality, homogenity a mikročistoty pasů na vsázkových surovinách, která se logicky nabízela, bylo využití pouze čistých vstupních surovin s předem zaručenou a ověřenou kvalitou chemického složení a mikročistoty (Ni-katody, Cu-katody, Fe-behanit a čisté legury). Tento zvolený technologický postup by byl ekonomicky náročný jednak vzhledem k nákupu čistých surovin, (kdy se obzvláště nikl pohybuje v cenovém rozmezí 16tis.-50tis. \$/t), ale také vzhledem k již zmiňované předváze potřebné k výrobě 1 t finálního polotovaru (2,6-2,7 t).

I přes ekonomickou náročnost a předpoklad, že by pravděpodobně nebylo možné technologický postup aplikovat v reálné výrobě společnosti KORO, bylo zkušebně odlito několik taveb. Podrobněji se o průběhu těchto experimentů nebudu ve své disertační práci rozepisovat, protože jak se následně ukázala experimentální tavby nebyly příliš vypovídající a neměly vliv na další práci. Důležitým poznatkem z těchto experimentů bylo, že všechny experimentální tavby, které byly odlity z čistých surovina jak na vakuové peci KOPP či na otevřené peci SF 1000 nemohly být využity k dalším experimentálním pracím. Všechny takto odlité ingoty vykazovaly buďto velmi vysoké procento pórovitosti či došlo k výraznému (znehodnocujícímu) zapraskání čepů při teplém válcování.

Abychom mohli říci, co přesně bylo konkrétní příčinou výše uvedené problematiky odlévání ingotů na vakuové peci KOPP či otevřené peci SF 1000, bylo by potřeba provést mnohé další experimentální tavby, které by bylo nutné podrobit potřebným expertním analýzám. Tyto práce by byly jednak časově náročné, ale hlavně velice ekonomicky nákladné (použitím čistých surovin). Vzhledem k tomu, že i přes možné zvládnutí této technologie, by nebylo možné tuto technologii využívat v praxi, jsem od řešení této problematiky v dalších prací ustoupila.

Hlavní otázkou k řešení, tedy bylo navržení vhodné technologie tavení a lití Fe-Ni slitin, které by využívalo 60-80% vratný technologický odpad vznikající při vlastní výrobě pasů. Jednalo se především o snížení zmetkovitosti při výrobě vlivem zapraskávání pasů při válcování za tepla, s kterým se společnost potýkala. Některé dříve provedené analýzy těchto pasů prokázaly, že jednou z hlavních příčin je vysoký obsah nežádoucích nečistot (S, C a jiné), dále pak nežádoucí výskyt vměstků typu Al_2O_3 , SiO_2 , MgO a v neposlední řadě mezidendriticky vyloučené precipitáty s vyšším obsahem S a Mn jejichž výskyt byl z hlediska četnosti vyloučení hlavně v obvodových (blízko povrchu) částech odlitého ingotu než v částech středových.

Všechny experimentální tavby, které byly následně vyhodnocovány v rámci disertační práce měly jasný prvotní požadavek ve změně stávajícího technologického postupu tavení a lití jak na vakuové peci KOPP tak na otevřené peci SF 1000 (viz. technologické postupy tavení a lití), který byl jasným předpokladem pro snížení vnitřních nečistot jako jsou vměstky, precipitáty apod. Jednalo se především o úpravě a použití vratného technologického odpadu. U všech taveb bylo potřeba při plánování vsázek dodržet maximální množství vratného technologického odpadu a to do maximální výše 80%. U vakuového tavení, pak musel být vratný technologický odpad, který byl znečištěn chladícími kapalinami při obrábění nejprve homogenizován na otevřených pecích SF 250 či SF 1000. U vakuové pece KOPP pak musela být navíc zavedena homogenizace na otevřených pecích SF 250 či SF 1000 odpadů jako jsou odřezané hlavy a paty odlévaných ingotů, vzhledem k tomu že na této peci není možno při tavení Fe-Ni slitin provést řádné ošetření a rafinace. Mimo uváděných změn v oblasti vratného technologického odpadu došlo také ke změně vyzdívky z kyselé hmoty SURACIT (98% SiO_2) na LÚCORMA (87% Al_2O_3) a to především kvůli vyššímu obsahu výskytu SiO_2 . Dále pak bylo zavedeno používání hradítek v nálevce, které měly zabránit průniku strusky a jiných hrubších nečistot do kokily při lití.

Po provedení výše uvedených změn v technologii tavení a lití Fe-Ni slitin,

který dával předpoklad snížení vnitřních nečistot bylo překročeno k experimentálním tavnám rovněž s použitím keramických filtrů, které se jeví jako vhodný nástroj pro zachycení nečistot a vměstků při lití.

6.1.2. Vliv změny tvaru a síly stěny kokil na primární krystalizaci

Výsledná kvalita válcovaných pasů je závislá nejenom na kvalitě vstupních surovin, postupu technologie tavení a lití, ale také na tvaru či síle využívaných kokil pro lití. Síla stěn licích kokil je významným hlediskem a to hlavně z hlediska akumulace tepla a tepelného spádu. Pro odlévání slitin Fe-Ni jsou pořizovány kokily s vnitřním průměrem $\varnothing 170$ mm s tloušťkou stěny cca. 100 mm. V průběhu výroby jsou kokily opotřebovávány a přesoustruženy na větší vnitřní průměry s ohledem na opotřebení a požadavky na výrobu pasů větších šířky. Uvedený způsob opravy kokil vede k soustavnému snižování tloušťky stěny kokily, která se dostává až na hodnotu 50 mm tloušťky a vnitřní průměr kokily je tak zvětšen na $\varnothing 270$ mm. To způsobuje primární krystalizaci a následně pak může docházet k zapraskávání pasů při válcování za tepla.

V rámci řešení problematiky vlivu změny síly stěny kokily na primární krystalizaci bylo realizováno několik experimentálních taveb v závislosti na druhu tavení a tloušťky kokily. Tavby byly realizovány na vakuové peci KOPP a na otevřených středofrekvenční indukční pecí. Všechny tavby byly odlity do nově pořízených silnostěnných kokil (rozměry kokily: vnitřní $\varnothing 255-265$ mm, vnější $\varnothing 465-500$ mm, délka 980 mm, příloha č.1). Tyto silnostěnné kokily byly pořízeny, dle výsledků z předchozích experimentů. Kdy se prokázalo, že změna tloušťky kokil a tím i tepelný spád mají na výsledné zapraskání při teplém válcování významný vliv.

6.1.2.1 Experimentální tavení a lití slitin FeNi42, FeNi50, FeNi47Cu5 – vliv tloušťky stěny kokily kruhového průřezu

Tavení a lití zkušebních taveb, proběhlo v různých časových intervalech do nově pořízených silnostěnných kokil. Předpokladem bylo, že v závislosti na síle stěny kokily, je závislá rychlost ochlazování a tím také rychlost krystalizace. Vlivem větší tloušťky stěny (než kokily doposud používané ve společnosti KORO) by mělo být docíleno snížení rychlosti ochlazování a tím zpomalení rychlosti krystalizace (pomalejší rychlost rekrystalizace pak má za následek rozšiřování jemné globulární struktury vlivem rekrystalizace ze středové části směrem k povrchu). V případě dříve používaných kokil s oslabenými stěnami (vlivem opracování po opotřebení vnitřní stěny kokily) docházelo k rychlejšímu ochlazování. Oblast neorientované krystalizace zrn se vyskytovala ve středové části. Krajiní část ingotu pak obsahuje velká nerekrystalizovaná zrna, která zasahují od povrchu ingotu až do 1/3 průřezu ingotem.

- **Tavení a lití na vakuové peci KOPP**

Tavení a lití slitin FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5 na vakuové peci KOPP bylo realizováno dle technologických postupů (viz. technologické postupy) tavení a lití pro slitiny typu FeNi. Informace o průběhu tavení všech třech taveb na vakuové peci jsou uvedeny v příloze č. 2. Z výše uvedených slitin byla realizována vždy jedna tavba, z které byly odlity dva ingoty s označením xxx/1 a xxx/2. Účelem realizace těchto tří taveb na vakuové peci KOPP bylo porovnání licí struktury u nových silnostěnných kokil a kokil se zeslabenou stěnou.

Po odlití ingotů byly odebrány před apretací vzorky (destičky) pro analýzy z litého stavu vždy od hlavové části (značeno jako H) a od patní části (značeno jako P), které byly vyhodnocovány ve spolupráci s výzkumnou org. COMTES FHT a.s.

- **Tavení a lití na otevřené středofrekvenční indukční peci (SF 1000)**

Tavení a lití slitin FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5 bylo odlito také dle předepsaných technologických postupů (viz. technologické postupy) pro tavení slitin na bázi FeNi. I zde byla odlita každá tavba do dvou nově pořízených kokil o průměru \varnothing 265 mm. Další záznamy o tavbě jsou uvedeny v příloze č.2

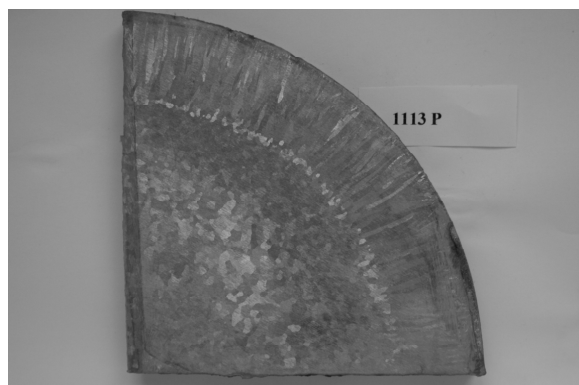
Tavení a lití na otevřené středofrekvenční indukční peci SF 1000 se během řešení projektu ukázalo jako příznivější. Protože, v případě tavení slitin, u kterých vsázka obsahuje více jak 50% homogenizovaného odpadu je u otevřené středofrekvenční indukční pece (SF 1000) možnost provedení efektivnější rafinace než je tomu u vakuové pece KOPP.

Hodnocení makrostruktury a mikrostruktury

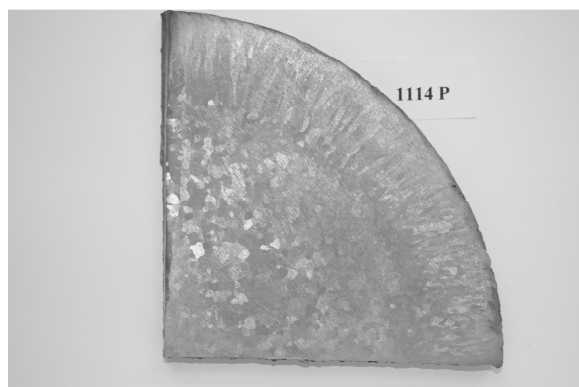
Plochy příčných řezů ze vzorků odebraných z každé zkušební tavby (vždy jeden ze dvou čepů), a to vždy z hlavové a patní části ingotu, byly vybroušeny a naleptány. Na vzorcích pak byla sledována tloušťka zóny kulumnárních zrn.



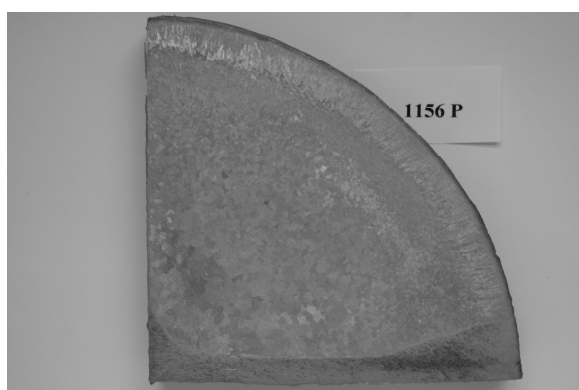
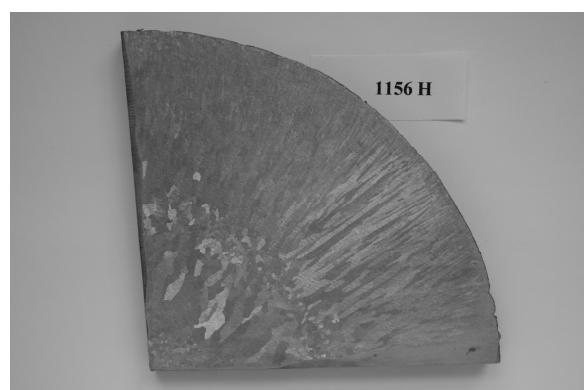
Obr.č.8 a č.9: Tavba č. 1112 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P



Obr.č.10 a č.11: Tavba č. 1113 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P



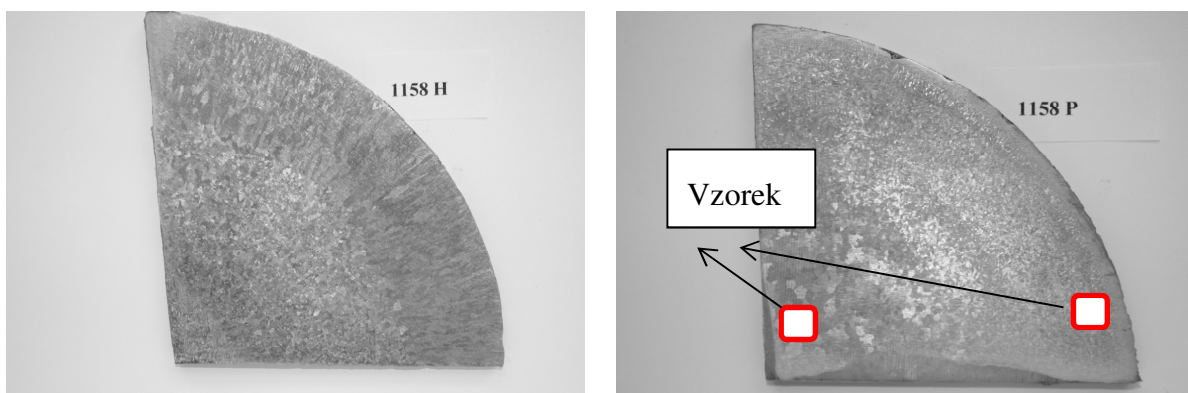
Obr.č.12 a č.13: Tavba č. 1112 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P



Obr.č.14 a č.15: Tavba č. 1156 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P



Obr.č.16 a č.17: Tavba č. 1157 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P

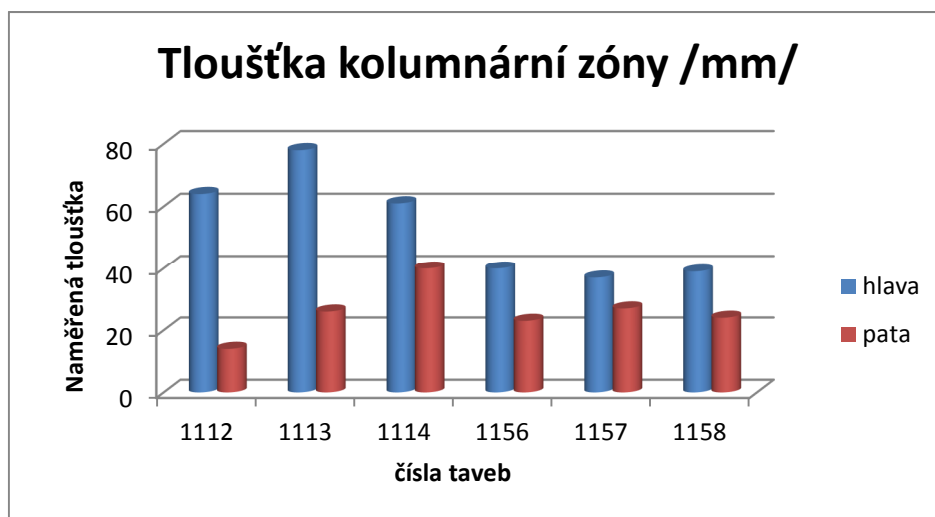


Obr.č.18 a č.19: Tavba č. 1158 vzorek odebraný z hlavové části označen jako H a patní části jak P

Na všech výše uvedených obrázcích bylo možné sledovat nárůst tloušťky kolumnární zóny. Všechny výbrusy z hlavové části ingotů vykazovaly kolumnární krystaly prakticky po celé ploše. Nejzřetelnější zjemnění licí struktury pak vykazovala tavba č. 1157 FeNi50 odlitá na tavící peci SF 1000, a to ve dvou soustředěných kruzích kolem středové části ingotu. Také u tavby č. 1158 FeNi47Cu5 odlité na otevřené peci SF 1000 byl patrný většinový podíl jemných rovnoosých zrn v hlavové, ale také v patní části ingotu.

V patních částech ingotů byla kolumnární zóna krystalů zřetelně ohraničena. Pod touto vrstvou pak narůstala vrstva jemnějších rovnoosých krystalů, která postupně přecházela ve velmi hrubá rovnoosá zrna s velikostí cca. 10 mm v průměru. Výjimka byla patrná u taveb 1113 FeNi42 a 1114 FeNi50 tavených a

litých na vakuové peci KOPP, kde nebyla oblast rovnoosých zrn co do velikosti zcela heterogenní. U taveb odlévaných na vakuové peci KOPP byla kolumnární zóna nejvíce rozvinuta, a to jak v patní tak i v hlavové části ingotu (viz.graf č.1).



Graf č.1: Tloušťka kolumnární zóny /mm/

Dalším krokem po makroanalýzách vzorků byla mikroanalýza, kdy byly z každého vzorku (z hlavové a patní části vždy okraj a střed pasu) odebrány vzorky k posouzení mikročistoty (viz.obr.č.19). Vzorky byly hodnoceny pomocí optického mikroskopu v neleptaném stavu. Byla provedená automatická detekce vměstků na úhrnné ploše cca. 12 mm² (10x10 obrazových polí při zvětšení 200x) pomocí skriptu v softwaru NIS Elements. Na vzorcích bylo provedeno vyhodnocení a porovnání četnosti výskytu vměstků v litém stavu (okrajové a středové části ingotů) a průměrné velikosti vměstků (viz. grafy č. 2, č. 3, č.4 a č.5). Z níže uvedených grafů vyplývá, že co do průměrné velikosti vměstků se vzorky okrajových ani středových částí jednotlivých taveb výrazně neliší (viz.graf č.4 a č.5). Zatím co do četnosti výskytu vměstků byl patrný rozdíl jak mezi hlavovou a patní částí, tak i mezi okrajem a středem ingotu.

Velice zajímavý poznatek pak vyplýval z porovnání technologie tavení a

četnosti výskytu vměstků. Zatím co u taveb, které byly provedeny na vakuové tavící peci KOPP (1112,1113,1114) je vždy větší četnost vměstků v hlavové části ingotu, tak u taveb odlitých na otevřené peci SF 1000 (1156, 1157, 1158) byla větší četnost vměstků právě naopak v patní části ingotu. Jediným rozdílem byla tavba č. 1158, která se výrazně lišila. U této tavby byla také četnost vměstků v patní a hlavně pak v hlavové části výrazně vyšší oproti ostatní vzorkům, což mohlo být způsobeno intenzivnějším mícháním taveniny, které umožňuje tento agregát. Měření mohlo být tedy také ovlivněno místem odběru vzorků.

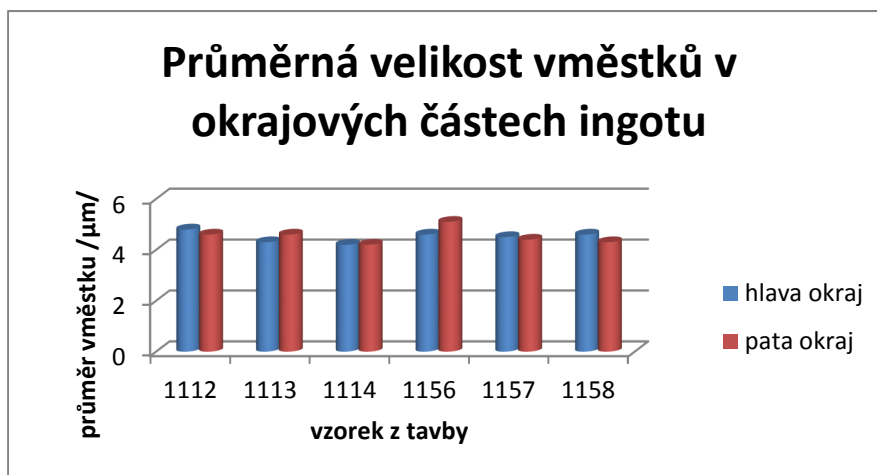
Rozdílná četnost vměstků v závislosti na druhu technologie tavení byla ovlivněna právě zvolenou technologií. Zatím co u vakuového tavení a lití na peci KOPP dochází k vyplavování nečistot a vměstků do hlavové části vlivem působení vakua, tak naopak u technologie tavení na otevřených pecích jsou nečistoty a vměstky uzavírány v patní části ingotu.



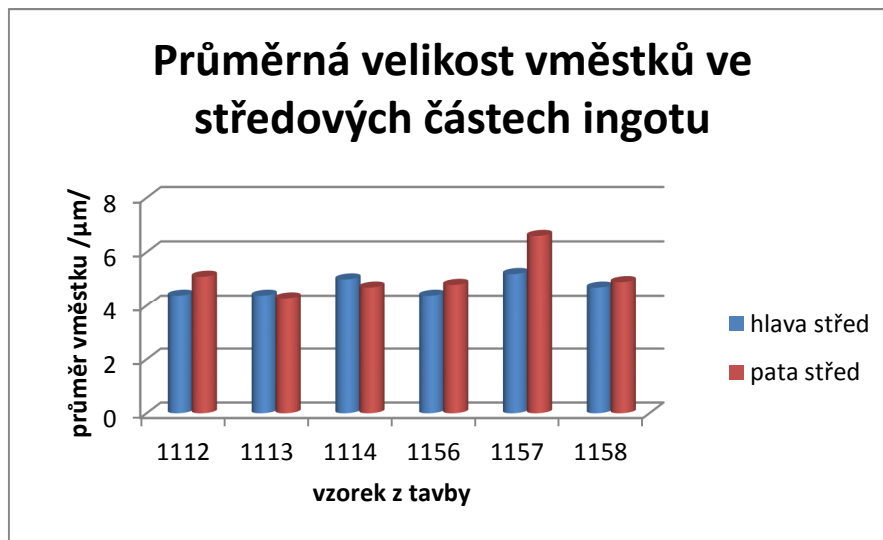
Graf č.2: Srovnání počtu vměstků v okrajových částech ingotů



Graf č.3: Srovnání počtu vměstků ve středové části ingotů

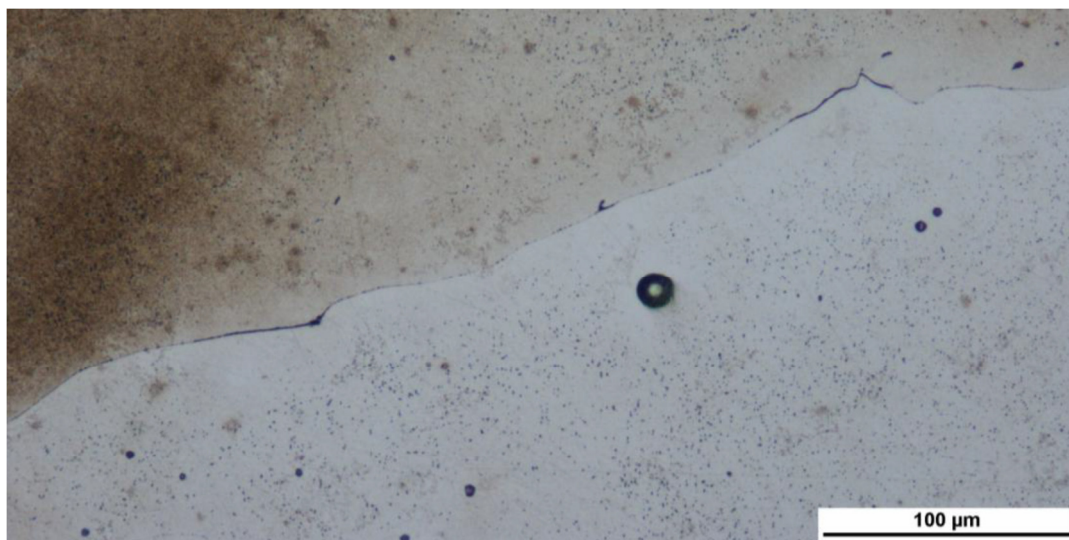


Graf č.4: Průměrná velikost vměstků v okrajových částech ingotů

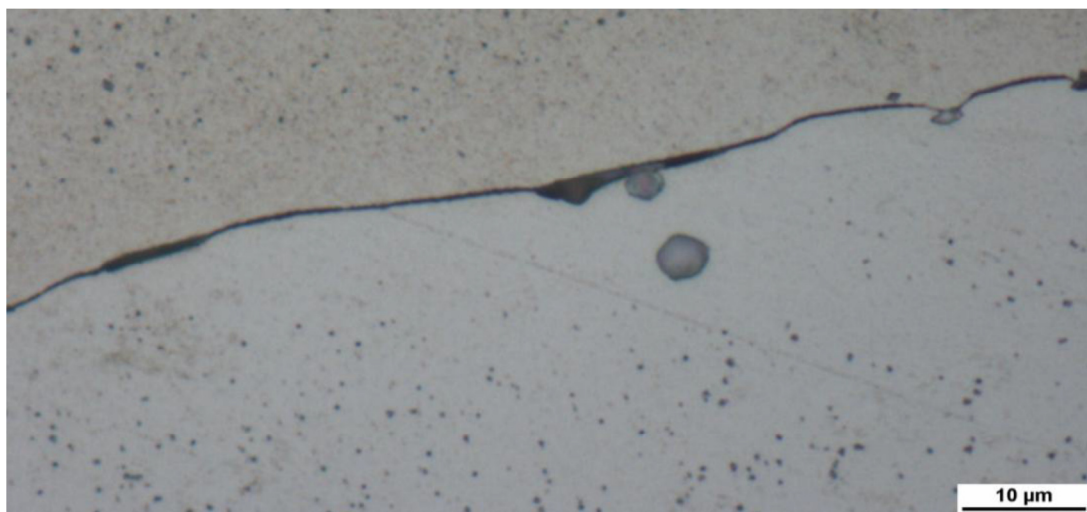


Graf č.5: Průměrná velikost vměstků ve středových částech ingotů

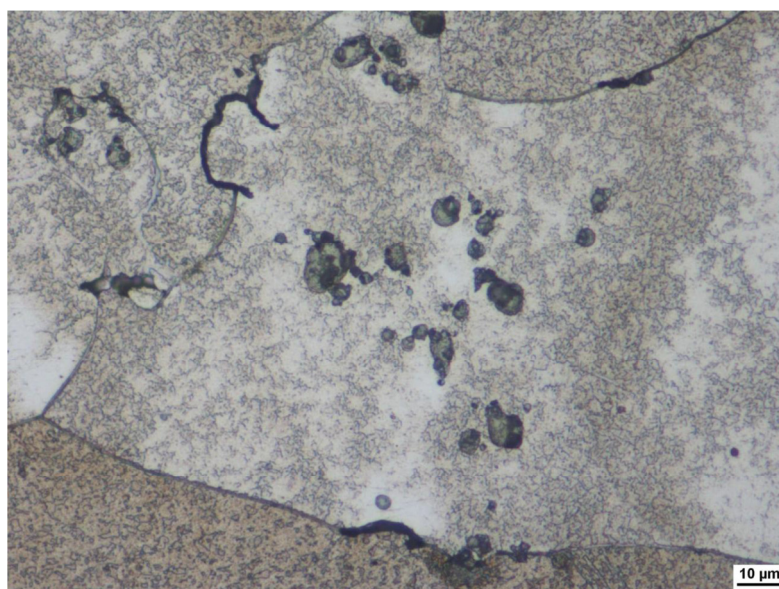
Pro studium mikrostruktury vzorků litého stavu, byly odebrány vzorky z okraje litých čepů. Metalografické výbrusy pak byly naleptány leptadlem Marble a pozorovány na světelném mikroskopu a následně pak na skenovacím elektronovém mikroskopu, kde byla také provedena analýza vměstků pomocí EDX.



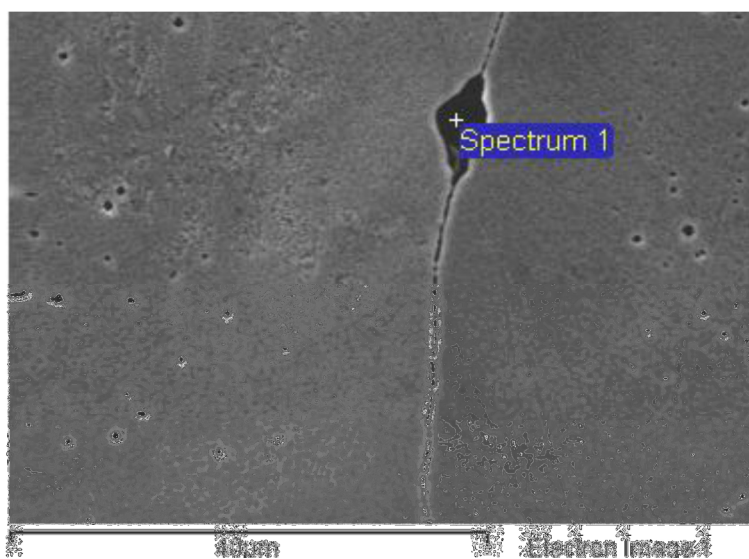
Obr.č.8: Hranice kolumnárních zrn se zřetelně patrnými vměstky zvětšeno 200x, tavba 1112



Obr.č.9: Detail hranic zrn s vměstkami. Zvětšeno 1000x, tavba 1112

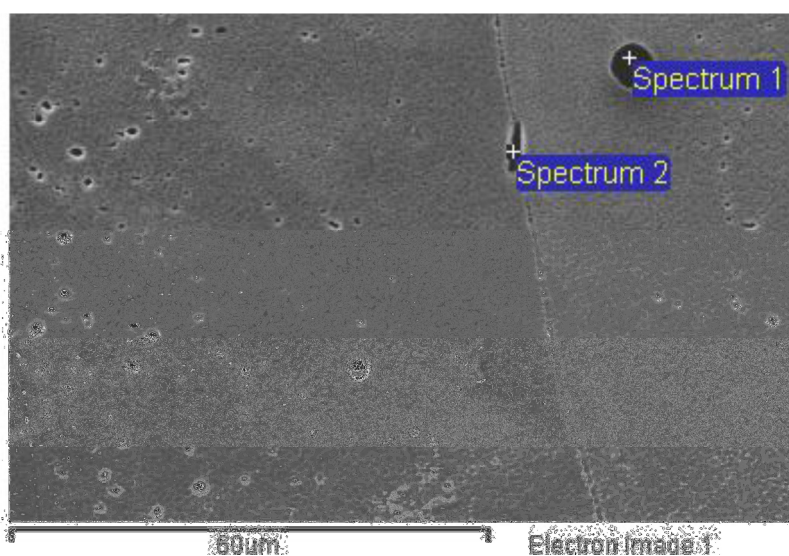


Obr.č.10: Vměstky na hranicích zrn. Zvětšeno 500x, tavba 1156



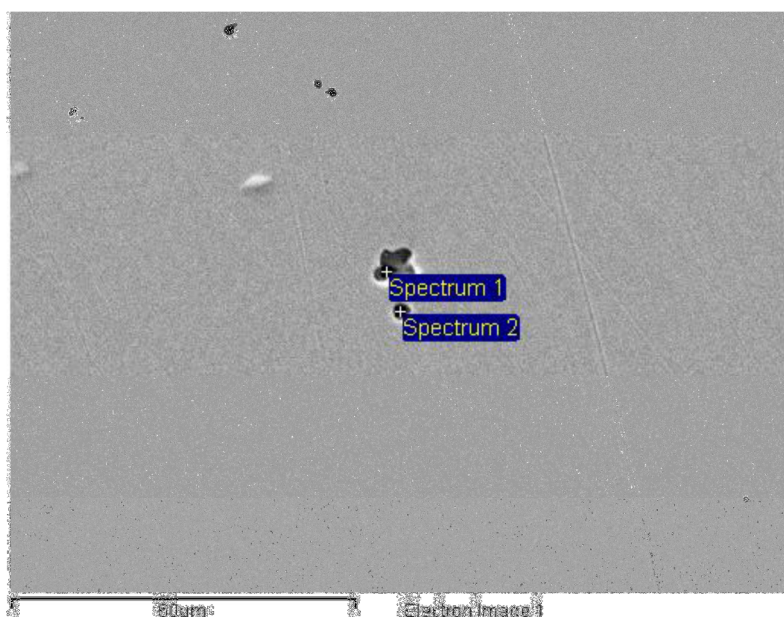
Obr.č.11: Spektrum vměstku na hranicích kolumnárních zrn, tavba 1112

Spectrum	C/O	Al	Si	S	Mn	Fe	Ni
Spectrum 1	Rest	3.27	19.37	3.98	10.74	4.13	15.26



Obr.č.12: Spektrum vměstku na hranici a středu kolumnárních zrn, tavba 1112

Spectrum	C/O	Al	Si	Mn	Fe	Ni	Mo
Spectrum 1	Rest	4.03	23.70	6.05	3.96	12.91	0.89
Spectrum 2	Rest			0.78	17.35	78.74	3.13



Obr.č.13: Spektrum vměstku, leštěný stav, tavba 1112

Spectrum	C/O	Mg	S	Mn	Fe	Ni
Spectrum 1	Rest	24.60	7.05	2.40	12.74	50.27
Spectrum 2	Rest	23.23	13.38	3.95	9.29	35.57

Vměstky, které se po analýzách pomocí EDX na skenovacím elektronovém mikroskopu analyzovaly, vykazovaly u všech taveb téměř stejný charakter. Jednalo se převážně o vměstky oxidického charakteru s připojenými sulfidy manganu, dále pak o oxidy hliníku (viz obr. č.11 a č.12), oxidy hořčíku (obr.č.13) a také oxidy křemíku. Drobné důlky, patrné na uvedených obrázcích jsou s největší pravděpodobností vyleptané vměstky při zpracování vzorků. Z obrázků je také patrné jejich úbytek kolem hranic zrn, což by mohla naznačovat jejich segregaci vměstků z okrajů zrn na jejich hranice.

- **Další technologické zpracování a vyhodnocování odlitých ingotů**

Apretace

Po odlití všech výše uvedených experimentálních taveb (tj. 6 taveb, každá po

dvou ingotech, celkem tedy 12 ingotů) bylo provedeno u všech ingotů odříznutí hlavy a paty. Povrch ingotů po apretaci byl čistý a bez závad, výsledný průměr čepů pro válcování byl \varnothing 230 mm.

Ohřev a válcování ingotů za tepla

Dalším krokem v technologii výroby bylo válcování za tepla všech dvanácti čepů, které proběhlo bez komplikací. Všechny čepy byly postupně vloženy do elektrické krokové pece FURNAX a ohřáty na teplotu 1200 °C s prodlevou na teplotě 4 hodiny.

Čepy z taveb 1112/1 - /2, 1156/1 - /2, 1157/1 - /2, 1158/1 - /2 byly vyválcovány na vratné válcovací stolici Škoda Duo z původního průměru čepu (\varnothing 230 mm) bez zapraskání s velmi dobrou kvalitou na pás s tloušťku 9 mm a délkou cca. 15 m. U taveb č. 1113/1 - /2 a 1114/1 - /2 došlo k výraznému zapraskání již po 4 úběru a v jednou případě dokonce už při 3 úběru, což vedlo k vyjmutí pasu z válcovací stolice. V obou případech se jednalo o tavbu z vakuové pece KOPP, kde nelze docílit tak příznivé rafinace jako je tomu u otevřené středofrekvenční peci SF 1000 (tavby 1156, 1157, 1158). Jak již bylo uváděno výše v případě vsázky, která je složena s více než z 60-80% tvořena homogenizovaným technologickým odpadem se pak tento problém rafinace může projevit zapraskáním pasů (jako tomu nastalo u taveb 1113 a 1114). Válcování za tepla tedy proběhlo za standardních podmínek bez změn nebo anomálií, které by mohly vést k zapraskání pasů z tavby 1113 a 1114. V úvahu je potřeba také brát vliv tahového napětí rovnoběžného s osou válců válcovací stolice DOU Škoda a snížení koheze po hranicích zrn litého stavu (viz. makro-analýza).

Vyhodnocení pasů po válcování za tepla:

Číslo tavby:	Polotovary:	Vyhodnocení válcování:	Poznámky:
1112	čep /1	A	
	čep /2	A	

1113	čep /1	N	Po 4 úběru vyjmuto z válcovací stolice
	čep /2	N	Po 3 úběru vyjmuto z válcovací stolice
1114	čep /1	N	Po 4 úběru vyjmuto z válcovací stolice
	čep /2	N	Po 4 úběru vyjmuto z válcovací stolice
1156	čep /1	A	
	čep /2	A	
1157	čep /1	A	
	čep /2	A	
1158	čep /1	A	
	čep /2	A	

Tab.č.9: A - vyválcováno bez zapraskání, C - zapraskáno do 30 mm,
B - zapraskáno do 15 mm, N - nedoválcováno

Silové a proudové poměry

Při válcování za tepla na válcovací stolici DUO škoda byly v rámci experimentů také sledovány silové a proudové poměry. U všech čepů z výše uvedených experimentálních taveb byly překročeny hodnoty na Duu ŠKODA překročeny přes maximální hodnotu proudového zatížení (které by mělo být max. 2650 A) pokaždé pouze při prvním úběru. V průběhu dalších úběrů pak bylo u všech válcovaných čepů proudové zatížení nižší než je uvedené maximum viz. příloha č.3. Silové poměry jsou sledovány hlavně kvůli přetížení elektrických spínačů ke kterému by mohlo dojít v případě překročení proudového maxima v několika po sobě jdoucích úběrech.

6.1.2.2 Tavení a lití do plochých kokil – vliv tvaru kokily

Jedním z požadavků kladený zákazníky je dodávání pasů o šířce přes 250 mm a to až do šířek 300 mm. Společnost KOVOHUTE ROKYCANY a.s., neustále hledala cesty k naplnění těchto požadavků a již nyní je jasné, že šíře pasu 300 mm je pro možnosti dostupné technologie konečná.

Výsledná šíře pasu je závislá nejen na možnosti strojového parku společnosti, ale také na kvalitě a rozměrech odlévaných ingotů. Pro zvětšení konečné šířky pasu byly v experimentálních tavbách použity dělené kokily na ploché ingoty a byl sledován vliv lité struktury a tvaru na konečnou šířku a kvalitu pasu. Tyto kokily jsou dělené dvoudílné s rozměry ingotu 310 x 150 x 1000 + nálitková hlava (celková váha ingotu bez hlavy je cca 390 kg).

- **Tavení a lití**

Tavení slitiny FeNi47Cu5 probíhalo na otevřené indukční peci SF 1000 kg (vyzdívka SiO₂). Jako vsázka bylo pro tavbu použito:

- **Vratný odpad**
- **350 kg třísek**

Pro krytí lázně byla použita odsiřovací směs KOS, která nahradila dříve používané drcené bezolovnaté sklo. Standardně byla provedena kovací zkouška, první mírně zapraskala a bylo provedeno dolegování Mn, Si a Al. Druhá kovací zkouška již byla vyhovující. Z tavby byly odlity dva ingoty, při lití druhého ingotu bylo šikmé uložení kokily a došlo k jejímu natavení.

Přehled o vsázce a průběhu tavení je uveden příloze č.7. Pohled na sestavu kokil (obr.č.17) a ingotů (obr. č.14-16).



Obr.č.14: Pohled na odlité ploché ingoty



Obr.č.15: Povrch odlitých plochých ingotů



Obr.č.16: Pohled na patní část odlitých plochých ingotů



Obr.č.17: Sestava plochých kokil

- **Hodnocení makrostruktury litých desek**

Z tavby č. 937 desky č.1 byla u hlavové a patní části odebrána destička. Destička byla rozdělena na dvě poloviny jedna polovina z hlavové a patní části byla vybroušena a naleptána pro zviditelnění makrostruktury (obr. č.18)

Makrostruktura u obou vzorků jak je patrné z obrázků je směrem od krajů transkrystalická. U vzorku z patní části byla středová část s drobnými neorientovanými krystaly (která je výhodná pro tváření) menší. Vzorek byl odebrán těsně u paty, kde je značný odvod tepla vlivem licí čočky. Značná ztráta tepla má za následek nedostatečnou zpětnou rekrystalizaci při chladnutí, čímž nedochází k vytvoření dostatečně velké oblasti neorientované transkrystalické struktury. Hlavová část je pro tvorbu neorientované krystalické struktury příznivější. Uváděná struktura zde zabírá přibližně 60% plochy příčného řezu. Nevýhodou plochých ingotů je styk transkrystalických zrn v rozích ingotu (obr.č.18), což je způsobeno malým zaoblením vnitřních hran kokily.



Obr. č. 18: Makrostruktura litého stavu ingotu – plochá deska

- **Další technologické zpracování a vyhodnocování odlitých ingotů**

Apretace ingotu

Po odlití plochých ingotů byla odříznuta hlava a pata ingotů. Následně došlo k apretaci celého povrchu ingotů 310 x 1000 na stolní frézce s celkovým úběrem 6 mm z každé strany (úběry byly vždy postupně po 3 mm). Povrch ingotů po apretaci byl čistý a bez závad.

Ohřev a válcování ingotů za tepla

Při ohřevu byly ploché ingoty vloženy mezi ingoty kulaté a ohřev byl proveden obvyklým způsobem v krokové peci FORMAX s prodlevou 4 hod. na teplotě 1200 °C. Hlavním problémem krokové pece FORMAX jak se v průběhu experimentů ukázalo, byla obtížná manipulace při vyjímání plochých ingotů z pece. Ploché ingoty se z pece vyjímaly obtížně a velmi pomalu. Doba, která je potřebná k vyndání čepu z pece a následně položení na válcovací trať je dlouhá a má za následek zchladnutí čelní strany ingotu. Toto zchladnutí se projevuje při následném válcování jako možné zapraskání po jedné straně vyválcovaného pasu (myslí se vnější z hlediska pece). Z ingotů byly vyválcovány pasy o tloušťce 9 mm (viz. příloha č.9) a našíření ingotů bylo z počátečních 310 mm na konečných 358 mm včetně zapraskání. (tj. 13,4 %). Z hlavy a paty vývalku byly odebrány vzorky pro zjištění mechanických vlastností v průřezu vývalku, které měly být dle předpokladu podstatně rovnoměrnější v porovnání s pasy z čepu.

Silové a proudové zatížení válcovací stolice

Při válcování plochých ingotů byly silové poměry na Duu ŠKODA značně změněny a při prvním úběru bylo proudové zatížení překročeno dokonce na 158% (viz. příloha č.8). Pro další zkoušky válcování plochých ingotů bylo potřeba upřesnit úběrové plány.

6.1.3. Využití keramických filtrů pro zvýšení mikročistoty odlitků

V rámci disertační práce bylo v průběhu roku 2010 realizováno několik experimentálních taveb u kterých byla využita možnost zvýšení vnitřní kvality ingotů využitím keramických filtrů používaných pro odlévání barevných kovů. Tento experiment vyplynul z předchozích zkušebních taveb a jejich výsledků, kdy bylo v odlitých čepích neustále detekováno velké množství sulfidických vměstků a jiných špatně rozpuštěných nečistot. K experimentálním tavnám byly zvoleny slitiny FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5. Pro možnost porovnání výsledků rozdílů lití s použitím keramického filtru nebo bez použití byly pro každou slitinu připraveny vždy dvě nálevky. Jedna nálevka měla zabudovaný licí filtr a druhá byla bez licího filtru. Z každé slitiny byly odlity vždy dva ingoty jeden za použití filtru a druhý bez použití filtru. K následným analýzám byly použity vždy dva vzorky ze stejné slitiny, ale z rozdílným způsobem odlévání

- **Tavení a lití**

Tavení slitin proběhlo v různých časových intervalech a se stejnými rozměry kokil. Průběh všech taveb s přesnými údaji jsou uvedeny v příloze č.1. Při lití všech taveb byla použita nálevka bez hradítka a licí otvor byl \varnothing 18 mm, hlavové nástavce a nálevky byly před odlitím řádně předeřátý. Tavby byly provedeny na otevřené středofrekvenční indukční peci SF 250 s možností částečného vakuování. Tato pec byly volená nejen pro svoji možnost využití vakuování, ale také vzhledem k ekonomické náročnosti experimentu v případě nezdaru. Všechny tavby byly sledovány od přípravy vsázky, tavení, lití až po válcování za tepla. V průběhu celé realizace byly odebrány vzorky k patřičným analýzám. Použitá vyzdívka byla v případě všech taveb SURACIT (SiO_2).

Filtry

Při experimentálních tavných slitin byly použity filtry zn. VUKOPOR HT společnosti LANIK FOAM CERAMICS. Tyto filtry jsou určeny pro filtraci tekutého kovu ve slévárnách a hutích. Jedná se o filtry na bázi ZrO₂ určené pro filtraci oceli, především vysoce legovaných slitin, kde je požadována vysoká chemická čistota (letecký průmysl, energetika, apod.). Výhodou těchto filtrů je jejich vysoká mechanická pevnost, která umožňuje použití při odlévání velkých odlitků či na více odlitků.

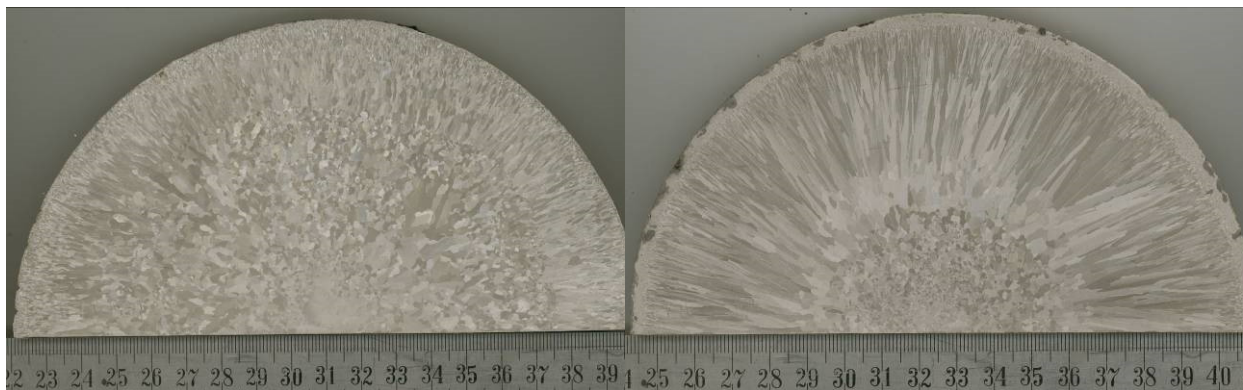
Dodané filtry byly upraveny na použitelné rozměry a zabudovány do nálevky pro odlévání na indukční středofrekvenční peci SF 250. V průběhu lití taveb ze slitin FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5 proběhlo odlití taveniny přes filtr bez větších problémů, nejlepší průtok přes filtr vykazovala slitina PyMo4.

Jako experimentální slitiny pro tyto tavby byly zvoleny FeNi42 (č.t. 1722/F a 1723), FeNi50 (č.t. 1726/F a 1727), FeNi47Cu5 (č.t. 1716/F a 1719).

- **Hodnocení makrostruktury litého stavu**

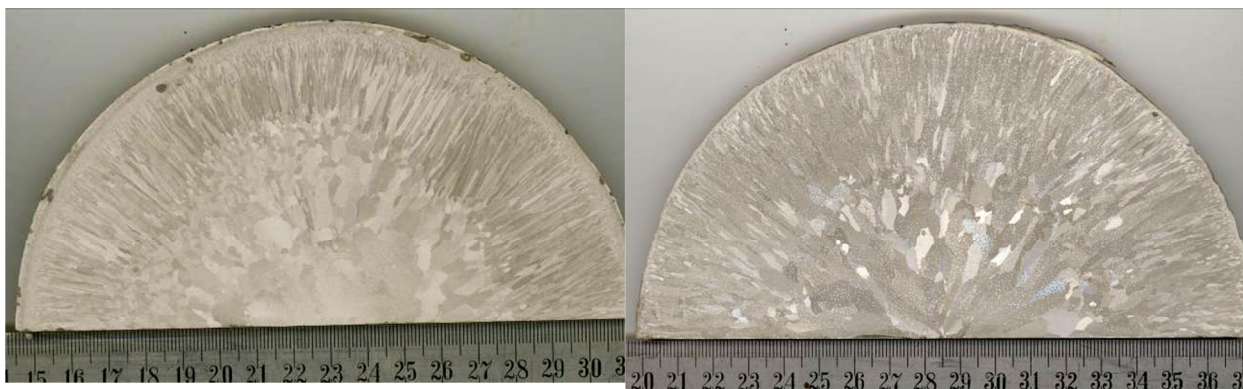
Makrostruktura litého stavu byla hodnocena u 12 taveb ze šesti slitin z plochy příčných řezů ingotem, a to vždy z patní a hlavové části. Dále byla hodnocena makrostruktura vyválnované slitiny FeNi47Cu5. Makrostruktura byla vyvolána leptáním v ředěné lučavce královské. U makrostruktury byla sledována tloušťka zóny z kolumnárních zrn a celkový vzhled příčného řezu.

Slitina FeNi47Cu5:



Obr. č.14. Vzorek 1716, pata

Obr. č.15. Vzorek 1716, hlava



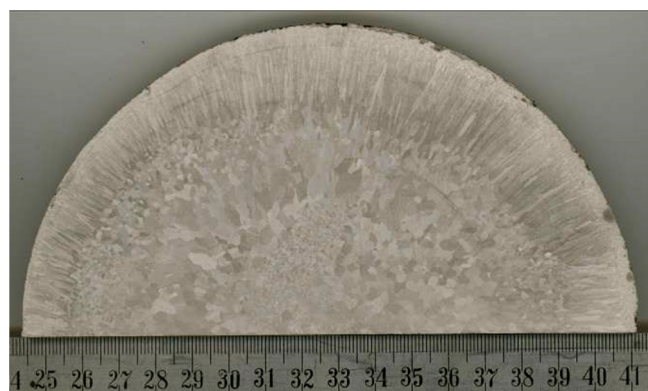
Obr. č.16. Vzorek 1719, pata

Obr. č.17. Vzorek 1719, hlava

Makrostruktura slitiny FeNi47Cu5 vykazovala velmi výrazný rozdíl mezi strukturou odlitého čepu při použití filtru (1716) a bez použití filtru (1719). Tento rozdíl u hlavové i patní části ingotu je zajímavý vzhledem k tomu, že obě tavby byly odlity na stejném zřízení a za velmi podobných podmínek (kromě použití filtru). V obou případech hlavové části byla patrná velmi výrazná (2/3 ingotu od povrchové části) kolumnární zóna zrn. Rozdíl u těchto dvou vzorků byl zaznamenán ve středové části ingotu, kde se u vzorku z tavby 1719 vyskytovala heterogenní hrubozrnná licí struktura. U vzorku 1716 pak byla patrná homogenní a jemnozrnná licí struktura. U vzorků z patních částí byla struktura podobná jako u výše uváděných vzorků z hlavových částí s rozdílem menšího rozsahu kolumnární zóny zrn. Výrazný rozdíl u těchto dvou vzorků byl také ve zbylé středové části ingotu, kde byla u tavby s použitím filtru (1716) výrazně jemnozrnější licí struktura než tomu bylo u tavby bez filtru (1719).

V případě shrnutí výše uvedených poznatků lze usuzovat, že použití filtru mělo vliv na zjemnění licí struktury a to jak u kolumnární zóny tak u středové zóny tvořené rovnoosými zrny.

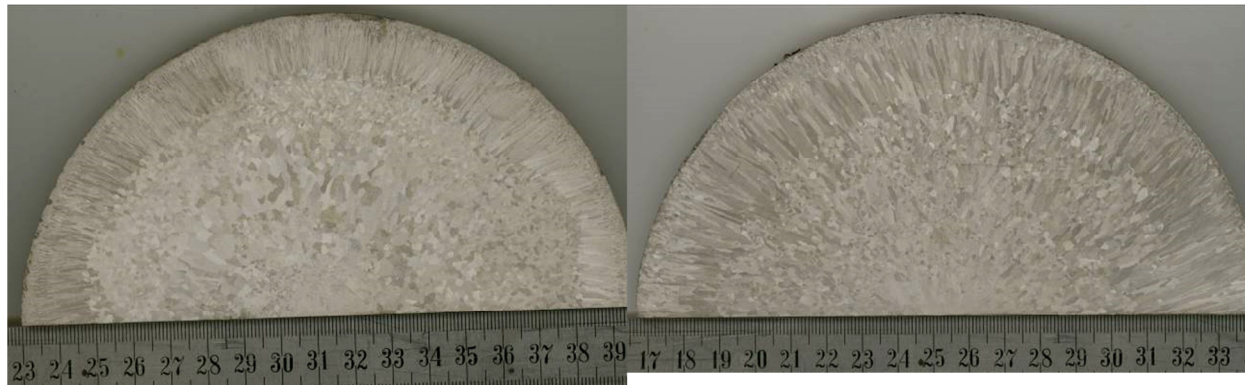
FeNi42:



Obr.č. 18. Vzorek 1720, pata



Obr. č.19. Vzorek 1720, hlava

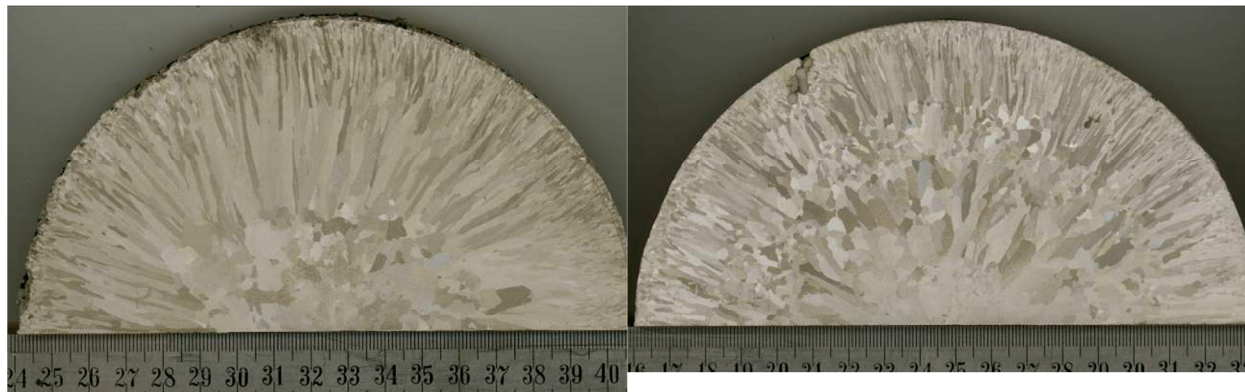


Obr. č.20. Vzorek 1721, pata

Obr. č.21. Vzorek 1721, hlava

Tavba FeNi42 vykazovala po odlití u tavby s použitím filtru (1720) u hlavové i patní části výraznější kolumnární zónu než tomu bylo u tavby bez filtru (1721). U obou taveb na kolumnární zónu navazovala zóna rovnoosých zrn kdy u tavby 1720 (hlava i pata) a tavby 1721 je průměrná velikost zrna nerovnoměrná. U patní části vzorku tavby 1720, pak byly zřetelně ohraničené velmi jemnozrnné a hrubozrnné oblasti o něco výraznější.

FeNi50:



Obr. č.22. Vzorek 1726, pata

Obr. č.23. Vzorek 1726, hlava

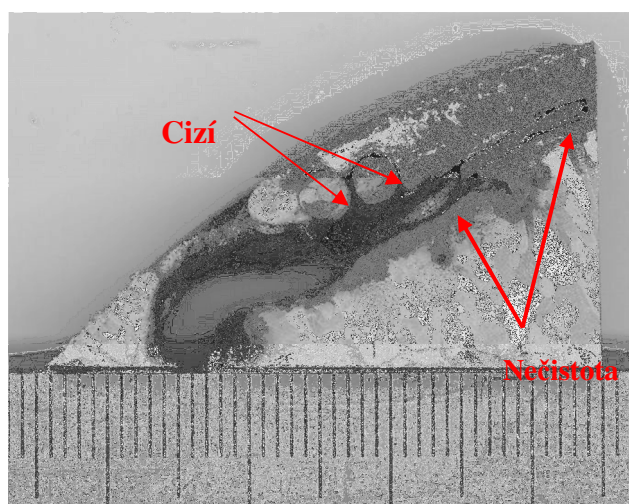


Obr. č.24. Vzorek 1727, pata

Obr. č.25. Vzorek 1727, hlava

Vzorky z obou taveb FeNi50 1726 a 1727 vykazovaly velké vměstky a to převážně v hlavové části. V obou případech byla patrná přerušovaná kolumnární zóna oblastí rovnoosých zrn. Za touto oblastí se opět vyskytují zrna s morfologií shodnou se zrny z kolumnární zóny a některá zasahují do hloubky až 50 mm a tím překonávají velikost kolumnární zóny v patní části čepu.

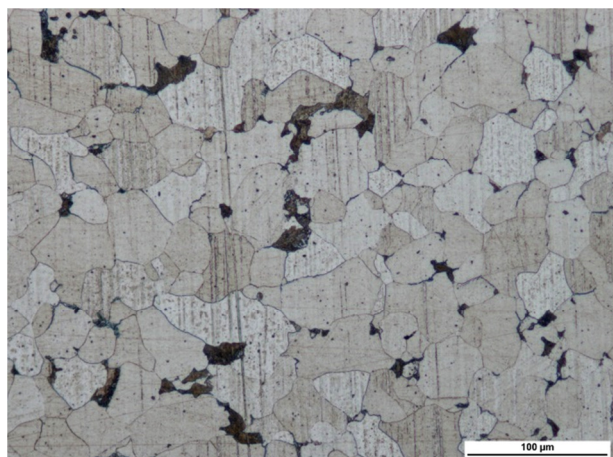
U tavy 1727 vměstky souvisely s poměrně rozsáhlou dutinou (obr. č.26). Vměstky se zde jevily jako cizí kovová tělesa s kruhovým průřezem, u kterých nedošlo k úplnému roztavení. Jejich detail je zobrazen na obr. č.27 a obr.č.28. V dutině byly také patrné vysegregované nečistoty.



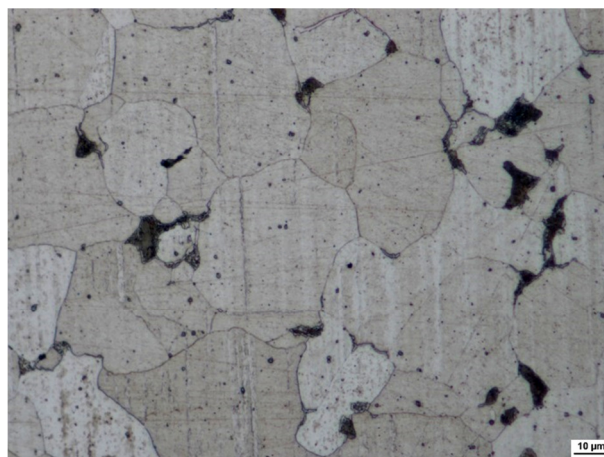
Obr. č.26. Vměstky ve vzorku 1727, hlava

Lité struktury byly snímány pomocí optického a elektronového mikroskopu.

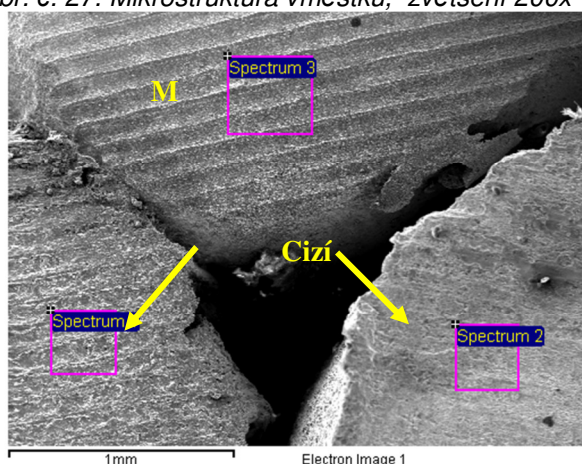
Chemické složení vměstků a jiných nečistot bylo měřeno pomocí EDX analyzátoru INCAx-sight. Na údaj o obsahu uhlíku a kyslíku je potřeba nahlížet pouze orientačně, protože výše uvedená metoda stanovení chemické analýzy je u lehkých prvků nepřesná. Výsledky jsou uvedeny v tab. č. 11 a 12.



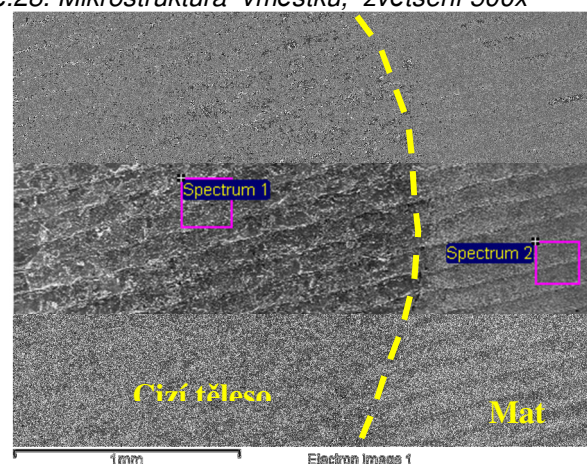
Obr. č. 27. Mikrostruktura vměstku, zvětšení 200x



Obr. č.28. Mikrostruktura vměstku, zvětšení 500x



Obr. č. 29. Mikrostruktura vměstku



Obr. č.29. Mikrostruktura vměstku

Spectrum	C	O	Mn	Fe	Ni
Spectrum 1	6.07	8.23	0.26	85.43	
Spectrum 2	7.83	13.34		78.83	
Spectrum 3	7.05	6.78	0.70	44.19	41.28

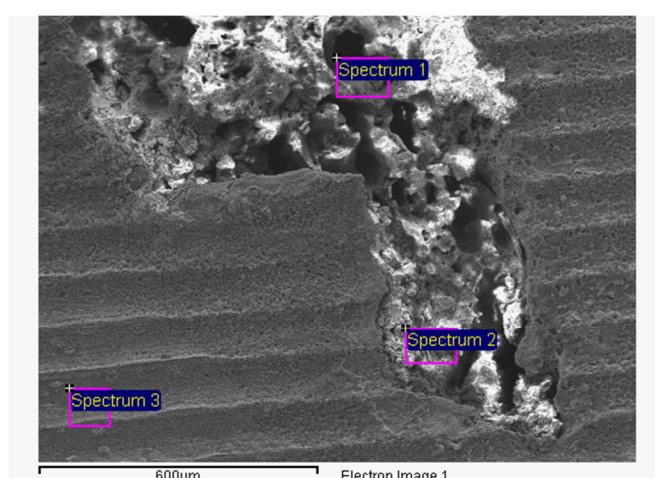
Tab. č.11. Chemické složení vměstku

Spectrum	C	O	Fe	Ni
Spectrum 1	6.01	5.39	88.60	
Spectrum 2	6.31		49.01	44.68

Tab. č.12. Chemické složení vměstku

Z výše chemické analýzy vyplývá, že se v rozsáhlé dutině vyskytovaly cizí tělesa pravděpodobně z nelegované oceli, protože byly tvořeny převážně železem, uhlíkem a malým množstvím manganu. Hodnota naměřeného kyslík je pravděpodobně ovlivněna leptání vzorku pro na makroanalýzu. Mikrostruktura vměstku pak byla tvořena feriticko-perlitickou strukturou.

Výsledky chemického rozboru nečistot jsou zobrazeny na obr. č.30 a v tab.č. 13.



Obr. 30. Vměstky ve vzorku 1727, hlava

spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ti	Mn	Fe	Ni
Spectrum 1	13.02	46.59	14.82	0.53	9.60	0.12	3.25		1,2	7.98	4.08
Spectrum 2	21.70	44.26	7.41	0.62	7.55	0.48	3.45	0.40	1.21	8.54	4.39
Spectrum 3	9.38	24.22			0.24		2.24			33.39	30.53

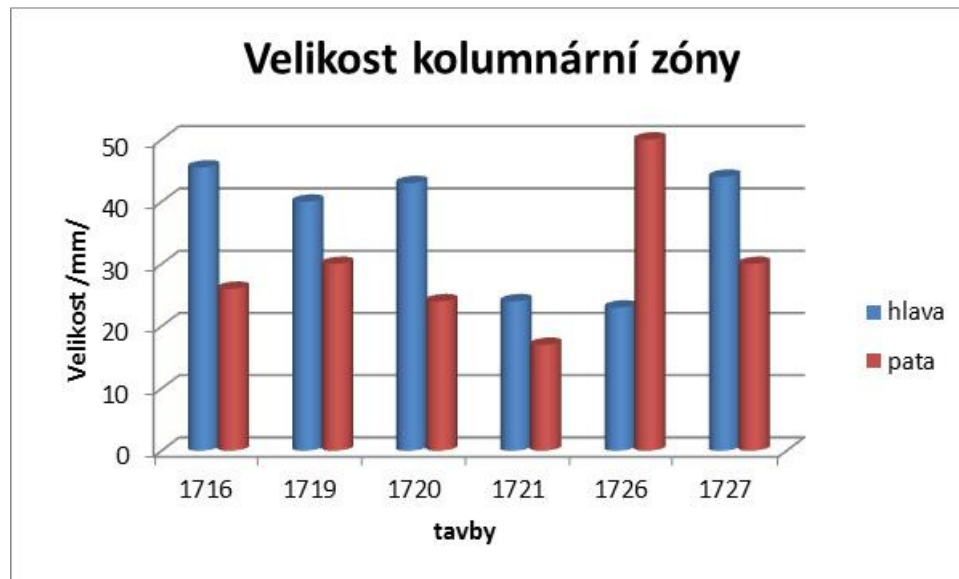
Tab. 13. Chemické složení

Z tabulky č 13 vyplývá, že nečistoty jsou převážně tvořeny oxidy hořčíku a křemíku. Objevovala se zde také síra. Přítomnost chlóru je pozůstatkem po leptání makrostruktury kyselinou chlorovodíkovou. Jedná se zde pravděpodobně o zbytky použité strusky při tavení.

Velikost kolumnární zóny

U všech příčných průřezů byla změřena tloušťka kolumnární zóny. Do této tloušťky byla při měření zahrnuta i tloušťka jemnozrné zóny rovnoosých zrn u kraje ingotu (v místě styku ingotu se stěnou kokily)

Výsledky jsou přehledně uspořádány v grafu č.21.



Graf č.21. Velikost kolumnární zóny

U všech taveb vykazovaly patrný nárůst tloušťky kolumnární zóny krystalů od patní části k hlavové části ingotu. Výjimku tvoří tavby 1726 (FeNi50) a 1727 (FeNi50), kde velikost kolumnární zóny v patní části ingotu převyšuje velikost kolumnární zóny v hlavové části.

- **Další technologické zpracování a vyhodnocování odlitých ingotů**

Apretace

Po odlití ingotů bylo provedeno u všech taveb odříznutí hlavy a paty u obou ingotů a odebrány vzorky na výše uvedené analýzy. Následně došlo k apretaci celého povrchu ingotů na soustruhu u kulatých ingotů. Povrch ingotů po apretaci byl čistý a bez závad. Rozměry čepů jsou uvedeny v příloze č. 6.

Ohřev a válcování ingotů za tepla

Všechny čepy byly uloženy v elektrické krokové peci FORNAX a ohřáté na teplotu 1200 °C s prodlevou na teplotě 4 hod. Válcování proběhlo na vratné válcovací stolici ŠKODA DUO podle standardních podmínek beze změn a případných anomálií, které by mohly ovlivnit výsledek válcování. Válcovací rychlost byla 3 m/s.

Tabulka č. 10: Vyhodnocení pasů po válcování za tepla:

Číslo tavby:	Materiál:	Filtr ANO/Ne	Vyhodnocení válcování:	Poznámky:
1720	FeNi42	ANO	A	
1721		NE	B	
1726	FeNi50	ANO	A	...dlouho v peci před odlitím
1727		NE	B	...dlouho v peci před odlitím
1716	FeNi47Cu5	ANO	A	
1719		NE	A	

A vyválcováno bez zapraskání
 B zapraskáno do 15 mm

C zapraskáno do 30 mm
 N nedoválcováno

- **Hodnocení makrostruktury a mikrostruktury válcovaných ingotů [33]**

Mikročistota hodnocená na válcovaných pasech za tepla

Mikročistota byla hodnocena na vývalcích s tloušťkou 9 mm v podélném směru válcování. Metoda stanovení mikročistoty byla použita dle DIN 50 602 (K4).

Slitina	FeNi42	FeNi50	FeNi47Cu5
A	1720	1726	1716
B	1721	1727	1719

Tab. č.14. Soupis hodnocených taveb A-s filtrem, B-bez filtru

U každé výše uvedené tavby byla hodnocena mikročistota na vyválcovaném vzorku pasu za tepla vždy z hlavové a patní části (střed a kraj pasu). Při vyhodnocování bylo hodnoceno celkem 312 vzorků. Takto vysoký počet vzorků svědčí o velké časové náročnosti, kterou hodnocení mikročistoty vyžadovalo.

Metalografická příprava (standartní):

- Broušení
- Leštění
- Hodnocení leštěných vzorků na optickém mikroskopu NIKON EPIPHOT 200

Vměstky, které se v mikrostruktuře vyskytovaly, byly převážně na bázi oxidů. Dle morfologie se daly vměstky rozdělit na dvě skupiny na tvárné a netvárné.

Tvárné vměstky jsou buď oxidické nebo sulfidické. Silikátové oxidické vměstky jsou viditelné jako černě nebo tmavě šedě zbarvené, vyskytují se jednotlivě v širokém rozmezí poměrů, protažení a mají zpravidla ostré hrany. Sulfidický typ vměstku je tvárný, vyskytuje se jednotlivě, má šedé zbarvení a má zpravidla zaoblené konce.

Netvárné vměstky jsou pak převážně typu Al, jsou černé nebo namodralé částice s nízkým poměrem deformace a vyskytují se převážně seřazené ve směru

deformace (tváření). Mezi netvárné vměstky můžeme zařadit i typy globulárních oxidů.

Číslo K4 je charakteristická hodnota vyjadřující přepočet množství vměstků na hodnocenou plochu.

Kompletní výsledky hodnocení mikročistoty jsou uvedeny v tab. č. 15.

Vzorek					netvárné	tvárné	K4	
FeNi47Cu5	A	1716	hlava	okraj	1716-H-o	76	0	57
				střed	1716-H-s	239	0	177
			pata	okraj	1716-P-o	177	2	130
				střed	1716-P-s	635	0	461
	B	1719	hlava	okraj	1719-H-o	0	6	4
				střed	1719-H-s	0	4	3
			pata	okraj	1719-P-o	0	4	3
				střed	1719-P-s	1	14	11
FeNi42	A	1720	hlava	okraj	1720-H-o	7	0	5
				střed	1720-H-s	30	0	22
			pata	okraj	1720-P-o	45	31	54
				střed	1720-P-s	34	0	24
	B	1721	hlava	okraj	1721-H-o	13	0	9
				střed	1721-H-s	431	1	312
			pata	okraj	1721-P-o	91	2	68
				střed	1721-P-s	50	0	36
FeNi50	A	1726	hlava	okraj	1726-H-o	33	2	25
				střed	1726-H-s	14	0	10
			pata	okraj	1726-P-o	0	0	0
				střed	1726-P-s	0	5	4
	B	1727	hlava	okraj	1727-H-o	66	1	49
				střed	1727-H-s	11	0	8
			pata	okraj	1727-P-o	9	0	6
				střed	1727-P-s	85	0	61

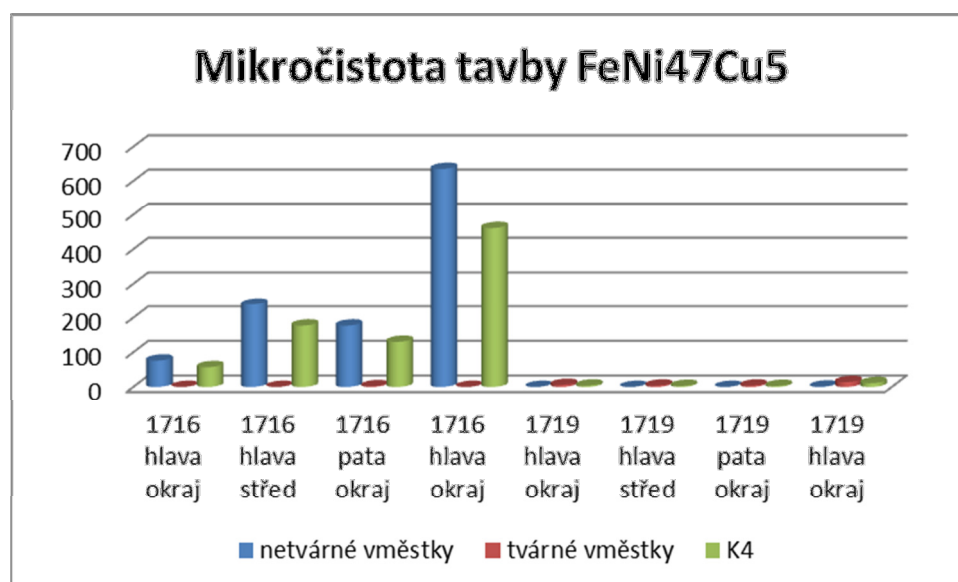
Tab. č. 15. Výsledky hodnocení mikročistoty, A-s filtrem, B-bez filtru

Z tabulky číslo 15 můžeme postřehnout fakt, že více vměstků se vyskytuje ve středových částech pasu než na jeho okrajích a to tvárných i netvárných. Výsledná mikročistota K4 měla ve středové části více jak dvojnásobnou hodnotu.

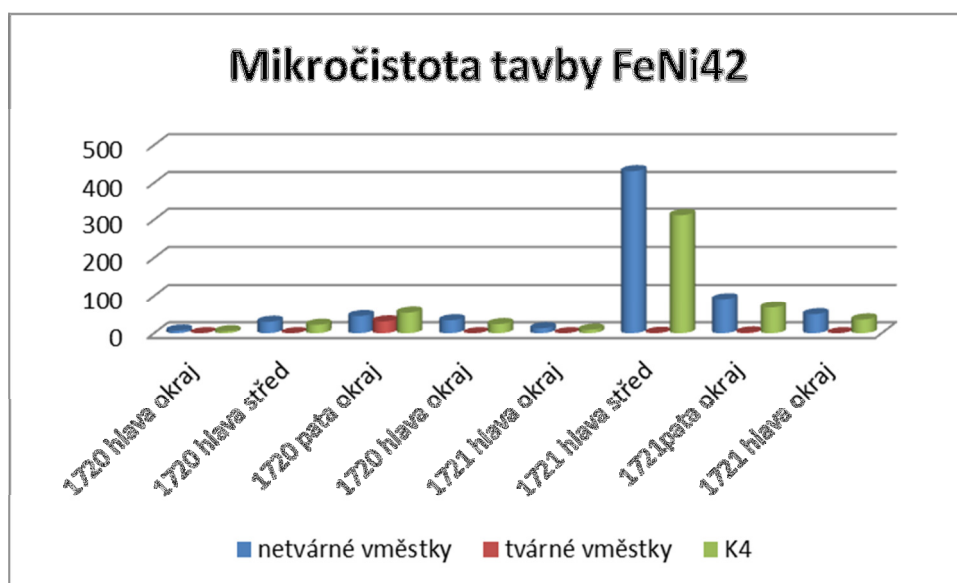
Netvárné vměstky se pak vyskytovaly více v patní části pasu než v hlavové. Jak je z tabulky patrné u tvárných vměstků je tomu zcela naopak. V celkovém pohledu však nemůžeme hovořit o velkých rozdílech mezi paní a hlavovou částí pasu. Rozdíl v čistotě K4 je pak mezi hlavovou a patní částí zcela zanedbatelný a množství vměstků u všech srovnatelné.

Porovnání vzhledem k použití filtrů při tavení je již o něco zajímavější. U taveb, které byly odlévané s využitím filtrů je množství netvárných vměstků dvojnásobné oproti tavebám bez využití filtrů. U tvárných vměstků je tomu pak přesně naopak a u taveb bez využití filtrů je množství tvárných vměstků několikanásobná.

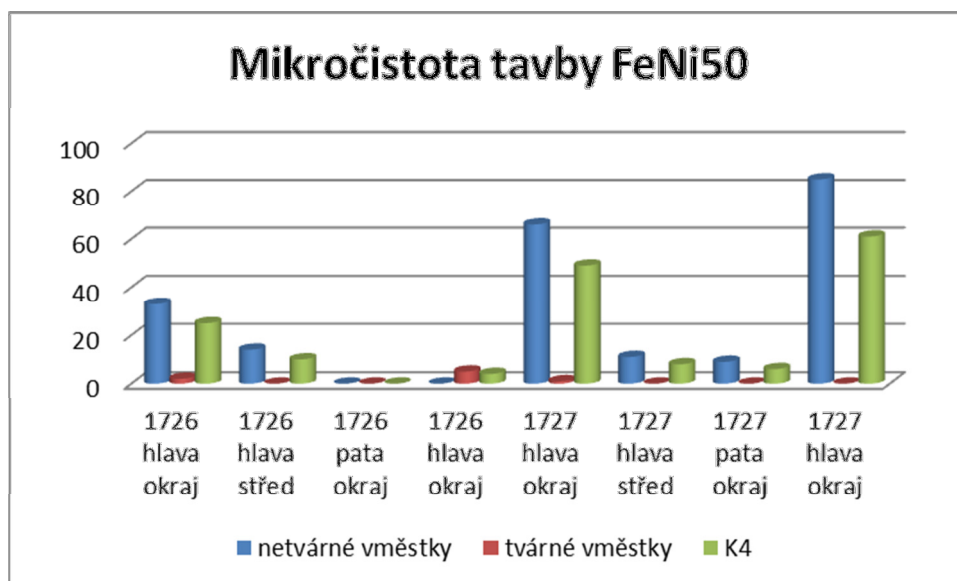
Rozdíly ve výskytu typů vměstků se tedy ukázaly při využití filtrů zcela zásadní a dalo by se usuzovat, že použitím filtrů se významně snížil počet tvárných vměstků, ale naopak výskyt netvárných vměstků na bázi oxidů hliníku se zvýšil. Zajímavým poznatkem ovšem je, že ve výsledku došlo u slitiny FeNi 50 a FeNi42 k poklesu celkové mikročistoty K4 o jednu třetinu při využití filtrů. Rozdělení průměrných hodnot mikročistoty podle jednotlivých taveb je zobrazeno v grafu č. 22.



Graf č. 22. Mikročistota tavby FeNi47Cu5



Graf č. 23. Mikročistota tavby FeNi42



Graf č. 24. Mikročistota tavby FeNi50

Analýza vměstků

Snímky vměstků z vyleštěných vzorků jsou zobrazeny na následujících obrázcích. Na obr. 30 až 33 jsou tvárné vměstky a globulární vměstky, na obr. 32 a 33 jsou oxidické vměstky hlinitanového typu seřazené ve směru deformace.



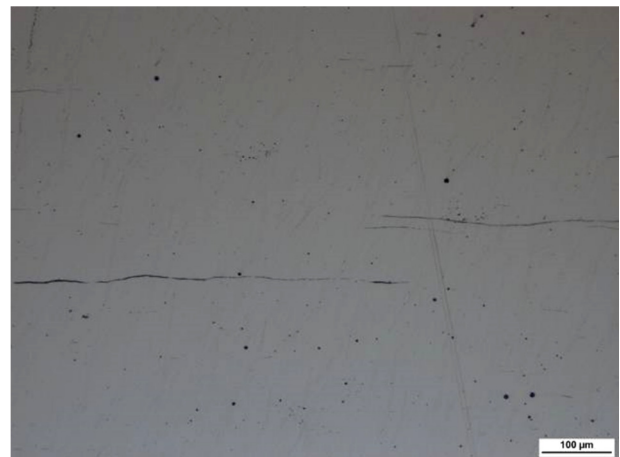
Obr. 30. Tvárný vměstek, zvětšení 100x



Obr. 31. Tvárný vměstek, zvětšení 100x



Obr. 32. Tvárný vměstek, zvětšení 100x



Obr. 33. Tvárný vměstek, zvětšení 100x



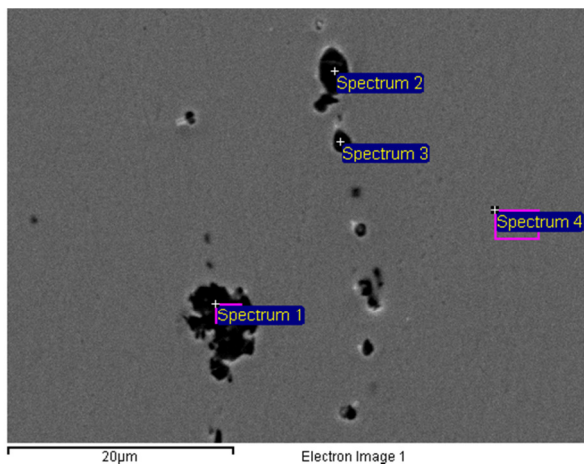
Obr. 34. Vměstek hlinitanového typu, zvětšení 100x



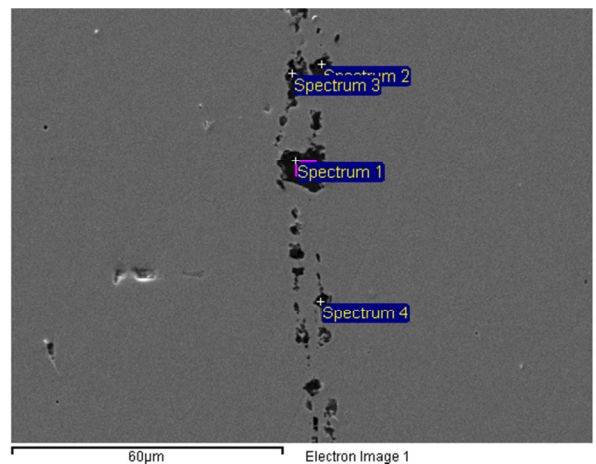
Obr. 35. Vměstek hlinitanového typu, zvětšení 100x

Detailní snímky vměstků byly pořízeny na řádkovacím elektronovém mikroskopu Jeol 6380. Lokální chemické složení bylo měřeno pomocí EDX analyzátoru INCAx-sight.

Na obrázku č. 36 a 37 byly analyzovány městky tavby 1716 slitiny FeNi47Cu5 ze středu pasu.



Obr. č.36. Vměstky tavby FeNi47Cu5

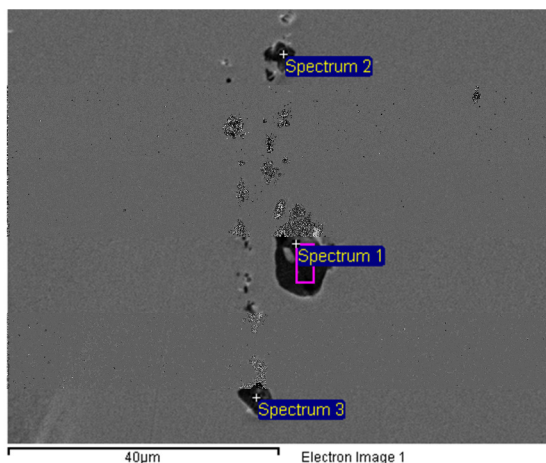


Obr. č.37. Vměstky tavby FeNi47Cu5

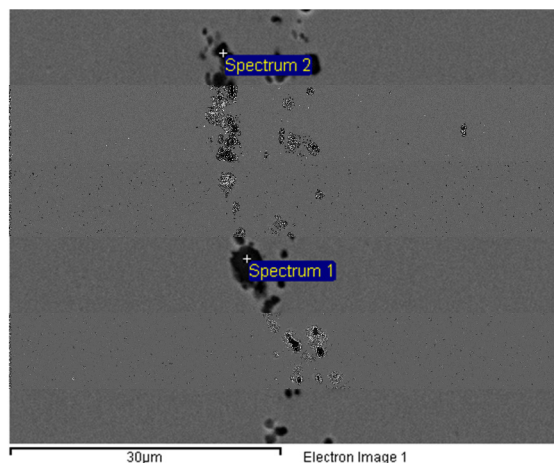
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Ni	Cu
Spectrum 1	8.2	47.2	27.0	11.4	6.2			
Spectrum 2	14.6	35.1	39.1			6.8	4.4	
Spectrum 3	18.1	27.5	26.6			16.0	11.8	
Spectrum 4						50.2	45.4	4.5

C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Ni
	49.9	23.2	15.1	10.5	1.4		
8.4	50.3	15.2	20.5	4.4	1.2		
7.8	37.9	33.8	7.2	3.6		5.9	3.8
7.7	41.9	15.9	18.9	3.3		6.6	5.5

Tab. č. 16. Výsledky EDX analýzy



Obr.č. 38. Vměstky tavby FeNi47Cu5

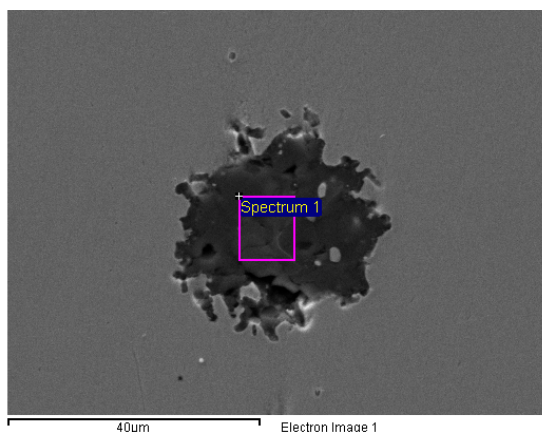


Obr.č. 39. Vměstky tavby FeNi47Cu5

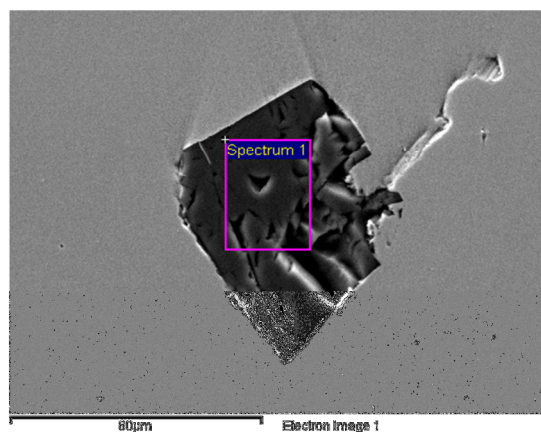
Spectrum	C	O	Mg	Ca	Fe	Ni
Spectrum 1	10.0	40.2	46.8	0.9	2.0	
Spectrum 2	12.2	22.9	26.5		19.6	18.7
Spectrum 3	17.8	32.1	37.4		6.5	6.2

C	O	Mg	S	Ca	Fe	Ni
16.2	37.8	36.2			6.0	3.8
18.8	26.9	18.9	3.8	0.9	16.9	13.8

Tab. č. 17. Výsledky EDX analýzy



Obr. č.40. Vměstek tavby FeNi47Cu5



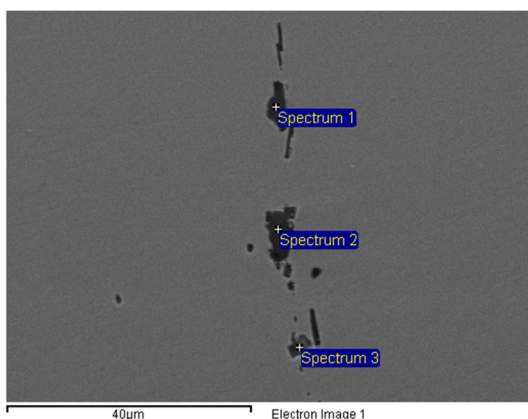
Obr. č.41. Vměstek tavby FeNi47Cu5

Spectrum	O	Mg	Al	Si	Spectrum	C	Si
Spectrum 1	48.7	20.2	25.8	5.3	Spectrum 1	34.8	65.2

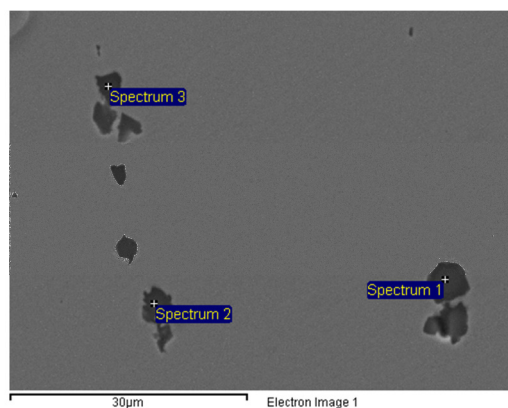
Tab. 18. Výsledky EDX analýzy

U této tavby byly analyzovány jak vměstky ve formě řetízků (obr. 38 až 39), tak i jednotlivé osamocené částice (obr. 40 a 41). Většina vměstků byly komplexní oxidy hořčíku a hliníku a u některých se také objevovalo stopové množství křemíku a vápníku. Dominantní prvkem v oxidech pak byl hořčík. Výjimku tvoří vměstek na bázi karbidu křemíku, který je zobrazen na obr. 41.

Další analýzy vzorků taveb Feni 42 a FeNi50 jsou uvedeny níže:



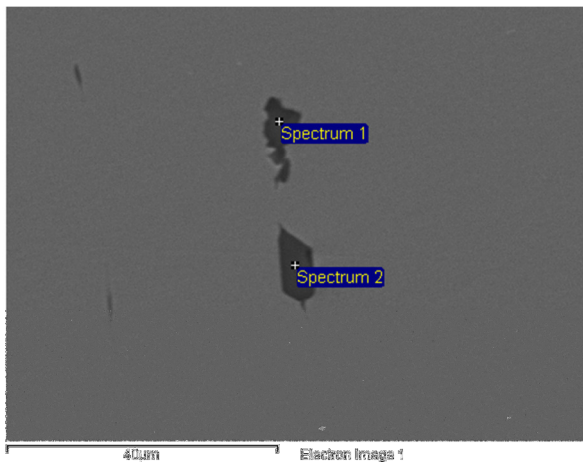
Obr. č.42. Vměstky tavby FeNi50



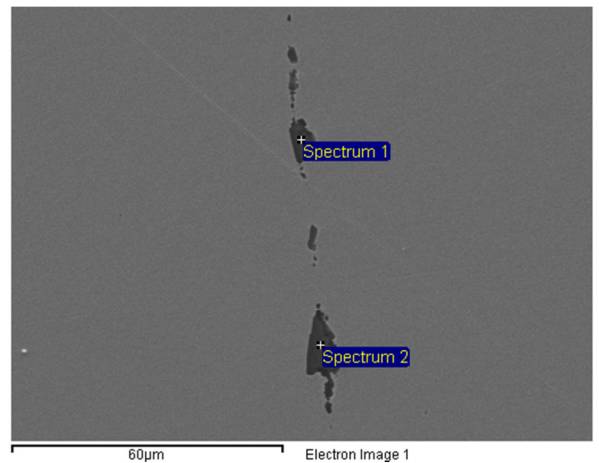
Obr. č.43. Vměstky Tavby FeNi50

Spectrum	C	O	Al	Si	Ca	Fe	Co	Ni		C	O	Al	Ca	Fe
Spectrum 1	6.6	43.2	37.2			7.5	2.3	3.2		6.9	48.1	38.9	5.0	1.1
Spectrum 2	7.4	45.6	41.5			3.3		2.2		6.2	48.0	37.6	3.8	4.4
Spectrum 3	5.6	21.6	15.7	2.9	2.1	28.8	9.3	14.1		8.5	49.8	36.8	1.9	3.0

Tab. 19. Výsledky EDX analýzy



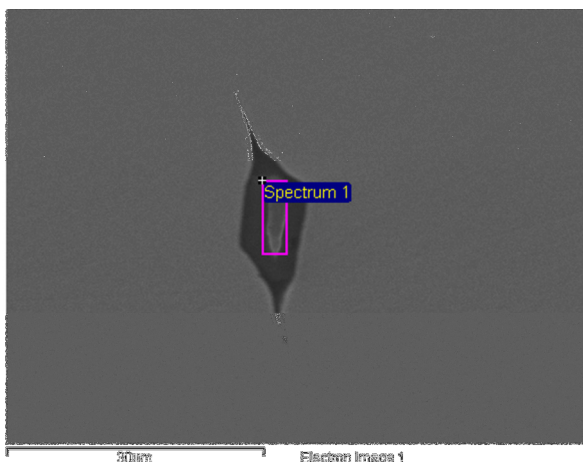
Obr. č. 44. Vměstky taby FeNi50



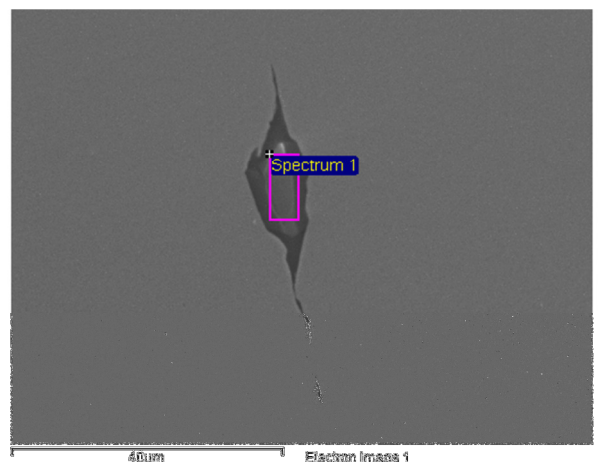
Obr. č.45. Vměstky tavby FeNi50

Spectrum	C	O	Al	Si		C	O	Al	Si	Ca
Spectrum 1	6.9	49.9	42.0	1.2		9.7	49.1	30.2	6.5	4.5
Spectrum 2	7.1	49.8	43.2			8.3	48.4	43.3		

Tab. 20. Výsledky EDX analýzy



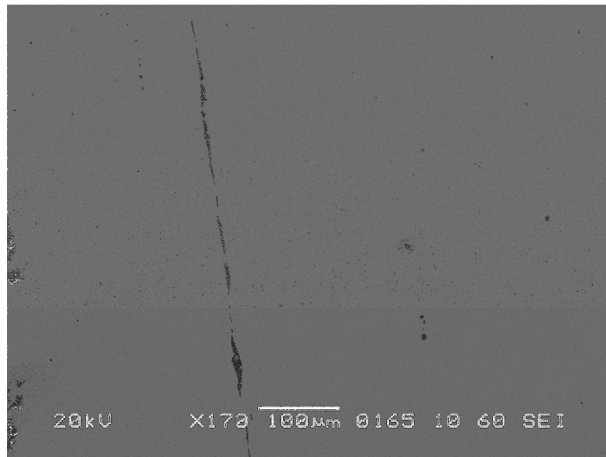
Obr. č.46. Vměstky tavby FeNi50



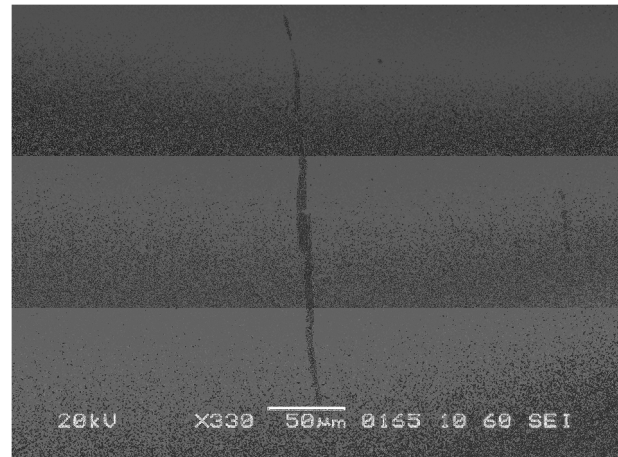
Obr. č. 47. Vměstky tavby FeNi50

Spectrum	O	Al	Si		O	Al
Spectrum 1	52.1	47.0	1.0		51.8	48.2

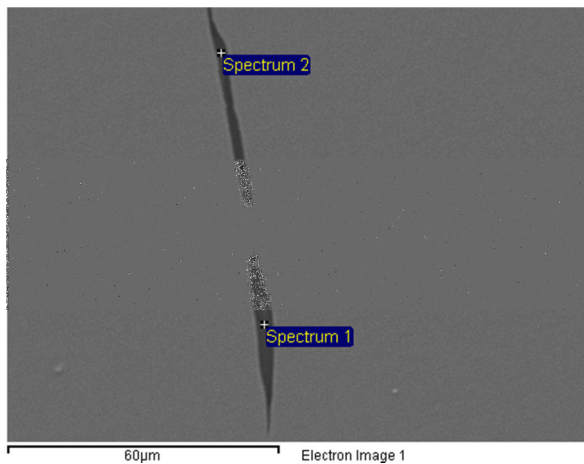
Tab. 21. Výsledky EDX analýzy



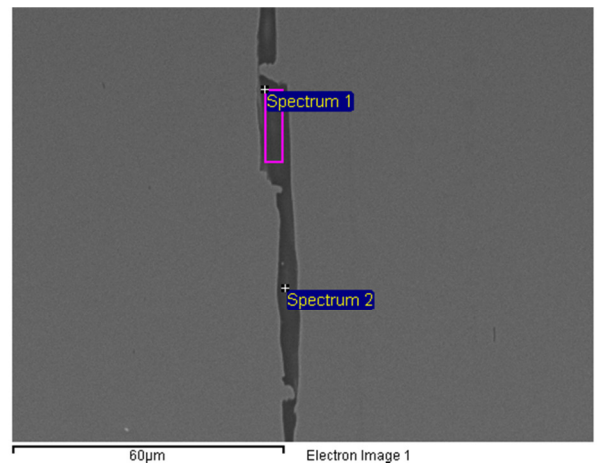
Obr. č. 48. Vměstky tavby FeNi50



Obr. č.49. Vměstky tavyb FeNi50



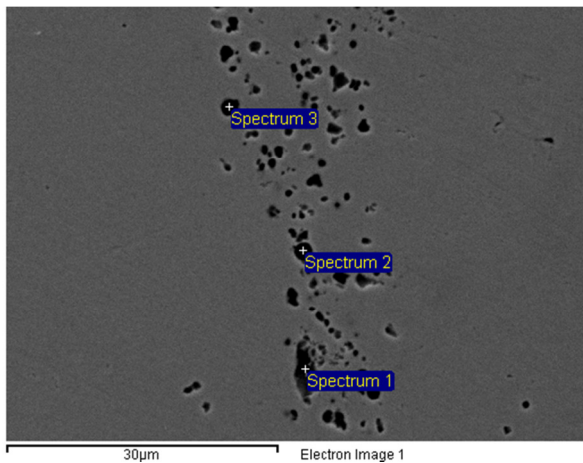
Obr. č.50. Vměstky tavby FeNi50



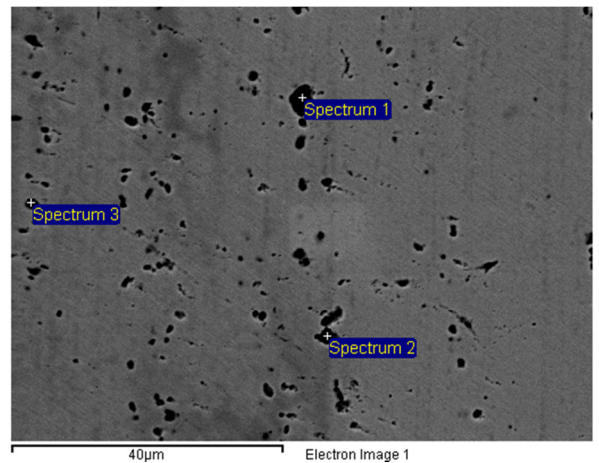
Obr. č.51. Vměstky tavby FeNi50

Spectrum	O	Al	Si	Ca	Mn	Fe		O	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Spectrum 1	51.2	10.2	21.2	2.9	10.8	3.6		53.1	30.0	11.7			5.2
Spectrum 2	47.8	13.4	17.9	2.4	8.6	10.0		51.8	9.4	23.2	2.3	10.9	2.5

Tab. 22. Výsledky EDX analýzy



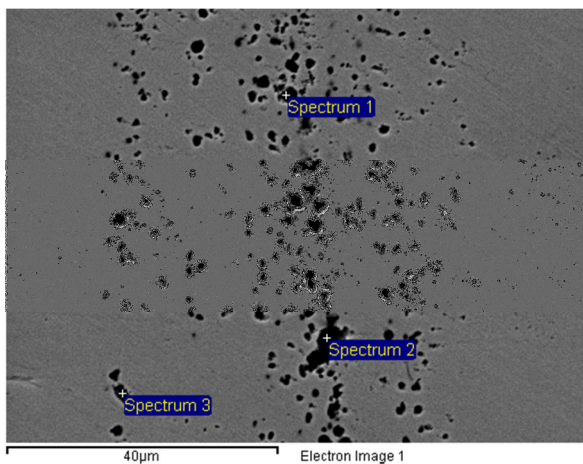
Obr. č.52. Vměstky Tavby FeNi42



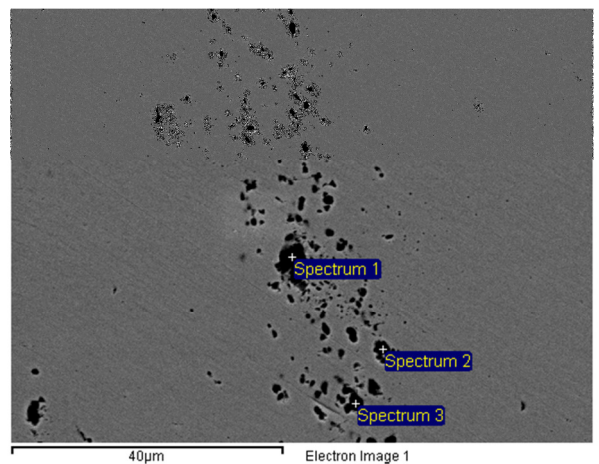
Obr. č.53. Vměstky tavby FeNi42

Spectrum	C	O	Mg	Si	Ni		C	O	Mg	Si	Ni
Spectrum 1	20.79	1.26		32.23	45.73		7.30	36.55	43.00		13.15
Spectrum 2	7.60	13.91	14.18	2.02	62.29		9.19	32.67	38.78		19.36
Spectrum 3	6.33	8.45	7.93		77.29		6.58	31.38	34.12	1.83	26.10

Tab. 23. Výsledky EDX analýzy



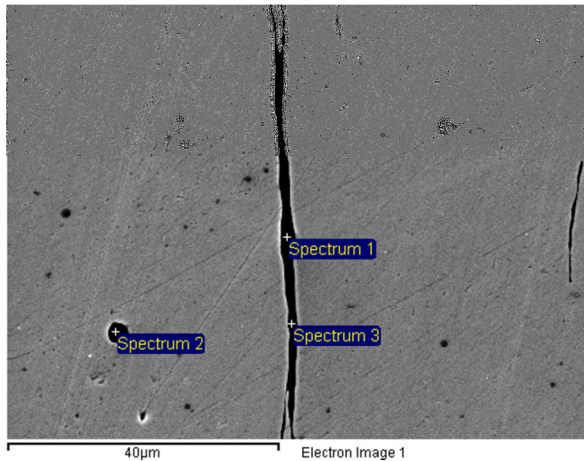
Obr. č. 54. Vměstky FeNi42



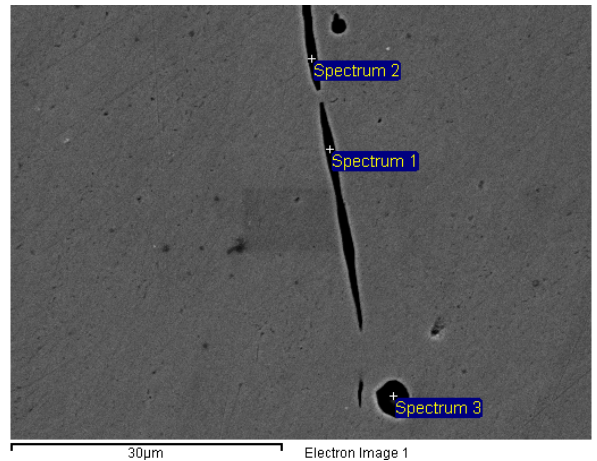
Obr.č. 55. Vměstky FeNi42

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Ni		C	O	Mg	Al	Si	Ni
Spectrum 1		30.51	41.02		2.42	26.05		41.10				55.50	3.40
Spectrum 2		45.05	33.82	1.63	11.33	8.17		8.26	30.60	22.69	6.43	2.42	29.61
Spectrum 3	23.88				30.13	45.99		10.60	41.73	25.73		7.77	14.17

Tab. 24. Výsledky EDX analýzy



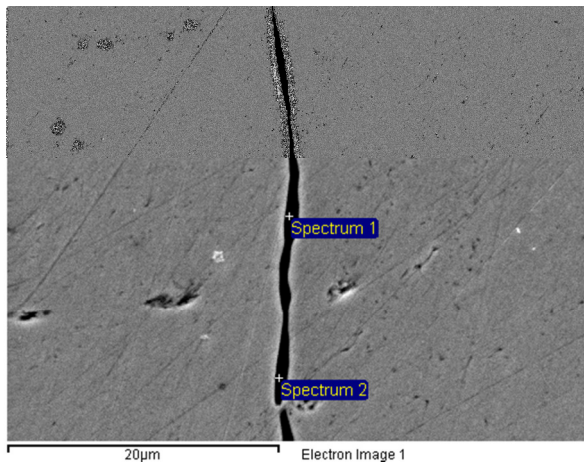
Obr. č.56. Vměstky FeNi42



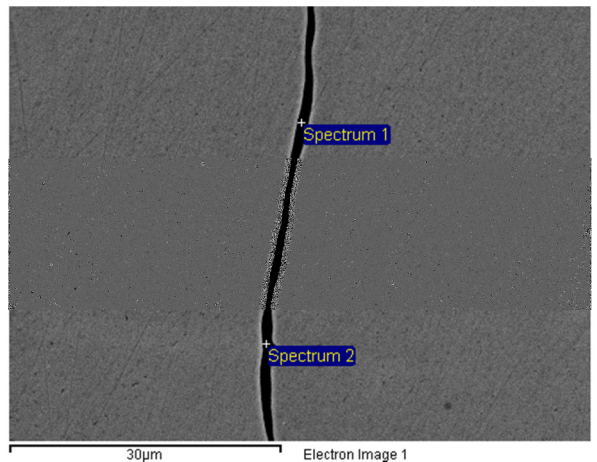
Obr. č.57. Vměstky FeNi42

Spectr.	C	O	Mg	Al	Si	Mn	Ni	C	O	Mg	Al	Si	Mn	Ni
Spectr. 1	21.1	43.8	5.3	6.72	9.6	1.2	12.0	24.6	29.8	4.1	4.48	6.8	1.0	29.0
Spectr. 2	21.2	44.7	8.4	18.5	0.8		6.13	25.5	28.2	3.6	3.29	6.0		33.2
Spectr. 3	20.1	10.8	1.8	2.39	3.0		61.6	23.8	46.3	7.9	16.6	1.6		3.55
	7	3	1	7	8	8	1	9	2	1	9	2	0	
	8	6	0	7	7			7	0	2	4		7	
	5	8	6	8	8		5	8	2	1	7	7		

Tab. 25. Výsledky EDX analýzy



Obr. č.58. Vměstky FeNi42



Obr. č.59. Vměstky FeNi42

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Mn	Ni	C	O	Mg	Al	Si	Ni
Spectrum 1	22.98	31.85	4.83	4.52	7.46	1.00	27.35	22.49	36.43	5.18	5.09	7.87	22.94
Spectrum 2	22.93	28.33	3.94	3.72	6.01		35.06	25.13	31.89	4.52	4.07	7.22	27.16

Tab. 26. Výsledky EDX analýzy

V provedených experimentálních tavných slitin FeNi byl být prokázán vliv použití keramického filtru VUKOPOR při lití a to s vyšší teplotou lití (1540-1550 °C). V provedeném experimentu byly odlity slitiny FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5.

V průběhu lití všech taveb bez použití filtrů proběhlo za normálních podmínek a bez komplikací. Při odlévání taveb se zabudovaným keramickým filtrem došlo u tavné slitiny FeNi47Cu5 docházelo v průběhu lití přes keramický filtr k tuhnutí slitiny (což mohlo ovlivnit výsledné hodnocení), ovšem i přes komplikované lití byla všechna tavenina do kokily nalita přes filtr.

Z rozboru makrostruktury litého stavu, který byl proveden u 12 taveb na příčných řezech ingotem z patní a hlavové části, vyplývá, že u všech taveb dochází k nárůstu tloušťky kolumnární zóny krystalů od paty čepu k hlavě.

U materiálu FeNi50 se vyskytují velké vměstky a to v hlavové části obou taveb 1726 a 1727. U tavné slitiny 1727 vměstky souvisí s poměrně rozsáhlou dutinou, která byla částečně vyplněna zbytky strusky. Z chemického rozboru vyplynulo, že vměstky jsou tvořeny pouze železem, uhlíkem a malým množstvím manganu. Jedná se tedy pravděpodobně o zbytky drátů (nebo něčeho podobného) z nelegované oceli, která má mikrostrukturu tvořenou feritem a perlitem.

Makrostruktura vývalků z patní a hlavové části ingotů ze slitiny FeNi47Cu5 je tvořena rovnoměrně rekrystalizovanou strukturou s rovnoosými zrny. Ale u povrchu jsou patrné ne zcela zrekrystalizované zbytky hrubých kolumnárních zrn a v oblasti hlavy se vyskytují hrubá zrna i ve střední části pasu.

Mikročistota byla hodnocena na vyválcovaných pasech, které byly vyrobeny ze šesti různých taveb. U tří taveb byl použit při odlévání filtr (1716, 1726, 1720) a u tří taveb probíhalo odlévání bez použití filtru (1721, 1727, 1719). Hodnocení probíhalo vždy na pasu z hlavové a patní části čepu z jeho středu a okraje.

Z celkových výsledků hodnocení mikročistoty vyplývá, že více vměstků se vyskytuje ve středu pasu než na jeho okrajích a to jak tvárných, tak i nedeformovatelných. Výsledná mikročistota K4 je tedy ve středu pasu více jak

dvojnásobná než na jeho okraji. Naopak nebyly pozorovány velké rozdíly ve výsledné mikročistotě mezi hlavou a patu čepu. V patě se vyskytovalo více vměstků hlinitanového typu, naopak v hlavě se vyskytovalo více vměstků tvárných.

Rozdíly ve výskytu typů vměstků jsou při použití filtrů zcela zásadní a lze konstatovat, že použití filtrů výrazným způsobem snížilo množství tvárných vměstků, ale výskyt vměstků na bázi hlinitanových oxidů se zvýšil. Přesto došlo k poklesu celkové mikročistoty K4 o třetinu. Lze tedy konstatovat, že množství vměstků je v dodaných pasech velice vysoké a nerovnoměrně rozložené. Jsou velké rozdíly u jednotlivých slitin, taveb i měřených lokalit. Z celkového počtu 52 sad se pod hodnotu K4:50 dostalo pouze 31 sad, což je pouhých 60%.

6.1.4. Návrh optimálních technologických postupů tavení a lití

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi47Cu5

Tavení a lití na peci SF250

Do vsázky je povoleno použít max.80 % homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů.

Materiál : hustota 8,2g/cm ³) FeNi47Cu5 kal.č. 282		Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep ø 190 mm
Chemické složení (%)		Směrné složení (%)		Vsázka (kg) pec SF250
Ni	46,0-48,0	Ni	47,0	113,0
Fe	zbytek	Fe	46,4	111,0
Cu	4,5-5,5	Cu	5,0	12,0
Mn	0,2-0,4	Mn	0,3	0,7
Si	0,1-0,3	Si	0,2	0,5
C	0,05	Al	0,2	0,5
P	0,015	NiMg15	0,3	0,7
S	0,015	Plněný profil Fe(CaSi)	0,6	1,6
		Celkem	100,0	240,0

Tavící a licí zařízení SF 250

- **Pec:** Středofrekvenční kelímková pec SF 250.. Kelímek na 250 kg taveniny je vydusán pomocí šablony kyselou hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila:** Litinová kokila Ø 190 mm pro výrobu pásů (1 čep z tavby). Kokila je přehřátá na teplotu 150-180 °C.
- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená a přehřátá na teplotu 120 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) s hradítkem důkladně vypálená a

předehřátá na teplotu 120 °C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm. Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení ,nálevka na stojanu

- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro kvantometrickou analýzu(KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do kruhové litinové kokily ozn.. ARL O2 .
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty Ni drátem .Podle tvaru špičky niklového drátu o \varnothing 5 mm po otavení v lázni po dobu 4-5 s .
- **Krytí lázně:** Pro krytí lázně používat strusku

Tavení a odlévání na peci SF250

- **Vstup:** Tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tabbě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (Kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
- **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky, nebo homogenizovaný či kusový odpad. max.80% vsázky. Dále Cu katody. Navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
- **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 KW budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne, stáhne strusku a lázeň přikryje struskou (300g plná nádobka), tak aby byla stejnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
- **Desoxidace :** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
- **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).
- **Desoxidace:** CaSi cca0,7kg (drát délky3,5m) Promíchání taveniny a nové krytí struskou.

- **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na licí teplotu. Promíchání taveniny.
 - **Odběr KA**
-
- **Desoxidace:** Si, Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Si a Mn pod strusku (vlození desoxidovadel pod hladinu taveniny v Ni či Fe uzavřené krabice). Ponechá se 1 min rozpouštět. Po promíchání taveniny se stáhne všechna stará struska. Hladina taveniny se „pokryje“ struskou č.1 (max.100g , aby při vakuování nedocházelo k rychlému „zamrzání“ hladiny taveniny
 - **Vakuování:** Pec se uzavře poklopem. Vakuování minimálně 20 minut při sníženém příkonu 50kW na maximálně dosažitelný tlak. Sledování taveniny. Odplyňování taveniny řídit tak, aby se tavenina nerozstříkovala. V případě, že tavenina po uplynutí 20 min. ještě „vaří“ vakuuje se do max. zklidnění hladiny. Pec se napustí vzduchem. Sejme se poklop a otevře pec. Lázeň taveniny se zasype struskou č.2 (plná nádobka).
 - **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadině rozkován do plochy a ohnut za tepla o 180°. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlije se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
 - **Konečná desoxidace:** NiMg, CaSi 0,7 -kg (3,5m drátu) vložení pod hladinu taveniny v Ni či Fe uzavřené krabice.
 - **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na licí teplotu 1500-1550 °C. Teplota se měří ponorným pyrometrem. Tavič sebere strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravené kokily, která může být naplněna argonem. Když tavenina v kokile dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu

naplní hlavu kokily.

- **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom ingot s kokilou převezde pomocí jeřábu na chladicí pole, kde ho nechá chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.
- **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí závěsné digitální váhy zváží. (provede se záznam o tavbě a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu.
- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením a normou slitiny.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi42**Tavení a lití na peci SF250**

Do vsázky je povoleno použít max.80 % homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů.

Materiál : hustota 8,2g/cm ³) FeNi42 kal.č. 243		Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep ø 190 mm
Chemické složení (%)		Směrné složení (%)		Vsázka (kg) pec SF250
Ni	41,50-42,0	Ni	42,0	96,6
Fe	zbytek	Fe	56,5	130
Mn	0,35	Mn	0,3	0,7
Si	0,3	Si	0,2	0,2
Al	0,1	Al	0,1	0,2
Cu	0,1	NiMg15	0,3	0,7
C	0,03	Plněný profil Fe(CaSi)	0,6	1,4
P	0,015	-	-	-
S	0,015	-	-	-
celkem			100,0	240,0

Tavící a licí zařízení SF 250

- **Pec:** Středofrekvenční kelímková pec SF 250.. Kelímek na 250 kg taveniny je vydusán pomocí šablony kyselou hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila:** Litinová kokila Ø 190 mm pro výrobu pásů (1 čep z tavby) Kokila je přehřátá na teplotu 150-180 °C.
- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená a přehřátá na teplotu 120 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160 s vloženým hradítkem, vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vypálená a přehřátá na teplotu 120 °C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm.

Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení, nálevka na stojanu

- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro kvantometrickou analýzu(KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do kruhové litinové kokily ozn.. ARL O2.
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty Ni drátem. Podle tvaru špičky niklového drátu o $\varnothing 5$ mm po otavení v lázni po dobu 4-5 s .
- **Krytí lázně:** Pro krytí lázně používat strusku

Tavení a odlévání na peci SF250

- **Vstup:** tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tavbě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (Kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
 - **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky, nebo homogenizovaný či kusový odpad. max.80% vsázky. Navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
 - **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 KW budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne stáhne strusku a lázeň přikryje struskou (300g plná nádobka), tak aby byla stejnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
 - **Desoxidace:** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
 - **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).
 - **Desoxidace:** CaSi cca0,7kg (drát délky3,5m) Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
- **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na licí teplotu. Promíchání taveniny.

- **Odběr KA**

- **Desoxidace:** Si, Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Si a Mn pod strusku. Ponechá se 1 min rozpouštět. Po promíchání taveniny se stáhne všechna stará struska. Hladina taveniny se „pokryje“ struskou č.1 (max.100g , aby při vakuování nedocházelo k rychlému „zamrzání“ hladiny taveniny.
- **Vakuování:** Pec se uzavře poklopem. Vakuování minimálně 20 minut při sníženém příkonu 50kW na maximálně dosažitelný tlak. Sledování taveniny. Odplyňování taveniny řídit tak, aby se tavenina nerozstříkovala. V případě, že tavenina po uplynutí 20 min. ještě „vaří“ vakuuje se do max. zklidnění hladiny. Pec se napustí vzduchem. Sejme se poklop a otevře pec. Lázeň taveniny se zasype struskou č.2 (plná nádobka).
- **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadině rozkovan do plochy a ohnut za tepla o 180°. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlije se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
- **Konečná desoxidace:** NiMg15, CaSi 0,7 -kg (3,5m drátu). NiMg15 vloženo pod hladinu lázně pomocí Ni či Fe uzavřené krabičky
- **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na lící teplotu 1500-1550 °C. Teplota se měří ponorným pyrometrem. Tavič stáhne z hladiny strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravené kokily, která může být naplněna argonem. Když tavenina v kokile dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu naplní hlavu kokily.
- **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom ingot s kokilou převeze pomocí jeřábu na chladící pole, kde ho nechá

chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.

- **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí závěsné digitální váhy zváží. (provede se záznam o tavbě a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu.
- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením a normou slitiny.

Technologie výroby pásů ze slitiny FeNi50**Tavení a lití SF250**

Do vsázky je povoleno použít max.80 % homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů.

Materiál:(hustota 8,3g/cm ³) FeNi50 kal.č. 250		Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 190 mm
Chemické složení (%)		Směrné složení (%)		Vsázka (kg) pec SF250
Ni	49,0 - 50,50	Ni	50	120,0
Fe	zbytek	Fe	48,4	116,1
Mn	0,3 - 0,6	Mn	0,4	1,0
Si	0,15 - 0,3	Si	0,2	0,5
Al	0,1	Al	0,1	0,2
Cu	0,2	NiMg15	0,3	0,7
C	0,03	Plněný profil Fe(CaSi)	0,6	1,5
P	0,02	-	-	-
S	0,02	-	-	-
Celkem			100,0	240,0

Tavící a licí zařízení SF 250

- **Pec:** Středofrekvenční kelímková pec SF 250. Kelímek na 250 kg taveniny je vydusán pomocí šablony kyselou hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila:** Litinová kokila Ø 190 mm pro výrobu pásů (1 čep z tavby). Kokila je předehřátá na teplotu 150-180 °C.
- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená a předehřátá na teplotu 120 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) s vloženým hradítkem, důkladně

vypálená a předehřátá na teplotu 120 °C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm. Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení, nálevka na stojanu

- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro kvantometrickou analýzu(KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do kruhové litinové kokily ozn.. ARL O2 .
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty Ni drátem. Podle tvaru špičky niklového drátu o $\varnothing 5$ mm po otavení v lázni po dobu 4-5 s .
- **Krytí lázně:** Pro krytí lázně používat strusku

Tavení a odlévání na peci SF250

- **Vstup:** tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tabě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (Kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
- **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky , nebo homogenizovaný či kusový odpad. Max.60% vsázky. Navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
- **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 V budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne, stáhne strusku a lázeň přikryje struskou č.1.(300g plná nádobka), tak aby byla rovnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
- **Desoxidace:** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
- **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).
- **Desoxidace:** CaSi cca0,7kg (drát délky3,5m) Promíchání taveniny a nové krytí struskou.

- **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na lící teplotu. Promíchání taveniny.
 - **Odběr KA**
-
- **Desoxidace:** Si, Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Si a Mn pod strusku. Ponechá se 1 min rozpouštět. Desoxidovadla jsou pod hladinu taveniny vsazeny za pomoci Ni či Fe uzavřené krabičky. Po promíchání taveniny se stáhne všechna stará struska. Hladina taveniny se „pokryje“ struskou č.1(max.100g), aby při vakuování nedocházelo k rychlému „zamrzání“ hladiny taveniny
 - **Vakuování:** Pec se uzavře poklopem. Vakuování minimálně 20 minut při sníženém příkonu 50kW na maximálně dosažitelný tlak. Sledování taveniny. Odplyňování taveniny řídit tak, aby se tavenina nerozstříkovala. V případě, že tavenina po uplynutí 20 min. ještě „vaří“ vakuuje se do max. zklidnění hladiny .Pec se napustí vzduchem. Sejme se poklop a otevře pec. Lázeň taveniny se zasype struskou č.2 (plná nádobka).
 - **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadině rozkovan do plochy a ohnut za tepla o 180°. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlije se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
 - **Konečná desoxidace:** NiMg15, CaSi 0,7 -kg (3,5m drátu). NiMg15 je pod hladinu vloženo pomocí Ni či Fe uzavřené krabičky.
 - **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na lící teplotu 1500-1550 °C. Teplota se měří ponorným pyrometrem. Tavič stáhne strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravené kokily, která může být naplněná argonem. Když tavenina v kokile

dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu naplní hlavu kokily.

- **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom ingot s kokilou převezde pomocí jeřábu na chladicí pole, kde ho nechá chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.
- **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí závěsné digitální váhy zváží. (provede se záznam o tavbě a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu.
- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením a normou slitiny.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi47Cu5**Tavení a lití na peci SF1000**

Do vsázky je povoleno použít max.80 % homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů

Materiál:(hustota 8,2g/cm ³) FeNi47Cu5 kal.č. 282		Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 230-185 mm deska 145 x 325 x 1000				
Chemické složení		Směrné složení		Vsázka kg - pec SF 1000				
	%	%		čep				deska
				Ø 230	Ø 215	Ø 200	Ø 185	
Ni	46,0-48,0	Ni	47,0	480,0	441,0	381,0	324,0	470,0
Fe	zbytek	Fe	46,4	473,0	436,0	376,0	320,0	464,0
Cu	4,5-5,5	Cu	5,0	51,0	47,0	40,0	35,0	50,0
Mn	0,2-0,4	Mn	0,3	3,0	3,8	3,2	2,0	3,0
Si	0,1-0,3	Si	0,2	2,0	1,9	1,6	1,4	2,0
C	0,05	Al	0,2	2,0	1,9	1,6	1,4	2,0
P	0,015	NiMg15	0,3	3,0	2,8	2,4	2,0	3,0
S	0,015	Plněný profil Fe(CaSi)	0,6	6,0	5,6	4,8	4,2	6,0
Celkem			100	1020, 0	940,0	810,0	690,0	1000, 0

Tavící a licí zařízení SF 1000

- **Pec** : Středofrekvenční kelímková pec SF1000. Pomocí železné nebo niklové šablony je vydusán kelímek na 1000 kg taveniny hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila**: Litinové kokily Ø 265-190 mm. Kokila je předehřátá na teplotu 120 °C.
- **Hlava**: Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta), důkladně vysušená a předehřátá na teplotu 120 °C.
- **Nálevka**: Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160

s vloženým hradítkem a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vypálená a předehřátá na teplotu 120 °C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm. Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení, nálevka na stojanu.

- **Kovací zkouška:** Malý grafitový kelímek na odběr vzorku z taveniny. Speciální kokilka určená jen pro kovací zkoušku. Kladivo. Kovářská kovadlina.
- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro (KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do předehřáté kruhové litinové kokilky ozn. ARL O2 .
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty taveniny Ni drátem.
- **Krytí taveniny:** Pro krytí lázně používat strusku

Tavení a odlévání

- **Vstup:** tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tavbě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
- **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky, nebo homogenizovaný či kusový odpad. max.80% vsázky. Potom Cu, a navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
- **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 KW budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne, stáhne strusku a lázeň přikryje struskou č.1, tak aby byla stejnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
- **Desoxidace:** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
- **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).
- **Desoxidace:** CaSi cca 1/2 vsázky (1m plněného profilu drátu váží cca 0,5kg).

Promíchání taveniny a nové krytí struskou.

- **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na licí teplotu. Promíchání taveniny.
 - **Odběr KA**
-
- **Desoxidace a odsíření:** Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Mn pod strusku pomocí Ni či Fe uzavřené krabíčky. Ponechá se 1 min rozpouštět. Promíchání taveniny. Naplnění kokily dusíkem a její přikrytí.
 - **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadlině rozkován do plochy a ohnut za tepla o 180°. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlije se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
 - **Konečná desoxidace** CaSi zbytek (cca 2kg drát délky 10m).
 - **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na licí teplotu 1500-1550 °C. Teplota se určuje ponorným pyrometrem. Tavič stáhne strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravených kokil, která může být naplněna argonem. Když tavenina v kokile dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu naplní hlavu kokily. Ihned po dolití pomocník zasype hlavu exotermickým zásypem KV17Al (cca 2kg).
 - **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom ingot s kokilou převezde pomocí jeřábu na chladící pole, kde ho nechá chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.
 - **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí

závěsné digitální váhy zváží. (provede se záznam o tavně a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu.

- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením a normou slitiny.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi42**Tavení a lití na peci SF1000**

Do vsázky je povoleno použít max.80 % homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů.

Materiál : (hustota 8,2g/cm ³) FeNi42 kal.č. 243			Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 230-185 mm deska 145 x 325 x 1000				
Chemické složení			Směrné složení		Vsázka kg - pec SF 1000				
prvek	%		prvek	%	čep (2ks)				deska (2ks)
	min.	max.			Ø 230	Ø 215	Ø 200	Ø 185	
Ni	41,50	42,0	Ni	42,0	428,0	395,0	340,0	290,0	420,0
Fe	-	zbytek	Fe	56,5	577, 0	531,0	458,0	390,0	565, 0
Mn	-	0,35	Mn	0,3	3,0	2,8	2,4	2,0	3,0
Si	-	0,30	Si	0,2	2,0	1,9	1,6	1,4	2,0
Al	-	0,10	Al	0,1	1,0	0,9	0,8	0,6	1,0
Cu	-	0,10	NiMg15	0,3	3,0	2,8	2,4	2,0	3,0
C	-	0,03	Plněný profil Fe(CaSi)	0,6	6,0	5,6	4,8	4,0	6,0
P	-	0,015		-	-	-	-	-	-
S	-	0,015		-	-	-	-	-	-
Celkem				100	1020,-	940,-	810,-	690,-	1000,-

Tavící a licí zařízení SF 1000

- **Pec:** Středofrekvenční kelímková pec SF1000. Pomocí železné nebo niklové šablony je vydusán kelímek na 1000 kg taveniny hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila:** Litinové kokily Ø 265-215 mm. Kokila je předehřátá na teplotu 120°C

- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená a předehřátá na teplotu 120 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) s vloženým hradítkem, důkladně vypálená a předehřátá na teplotu 120°C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm. Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení, nálevka na stojanu.
- **Kovací zkouška:** Malý grafitový kelímek na odběr vzorku z taveniny. Speciální kokilka určená jen pro kovací zkoušku. Kladivo. Kovářská kovadlina.
- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro (KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do předehřáté kruhové litinové kokilky ozn.. ARL O2 .
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty taveniny Ni drátem.
- **Krytí taveniny:** Pro krytí lázně používá strusku č.1

Tavení a odlévání

- **Vstup:** tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tavbě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (Kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
- **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky, nebo homogenizovaný či kusový odpad. max.80% vsázky. Navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
- **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 KW budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne, stáhne strusku a lázeň přikryje struskou, tak aby byla stejnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
- **Desoxidace:** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny

a nové krytí struskou.

- **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).
- **Desoxidace:** CaSi cca 1/2 vsázky (1m plněného profilu drátu váží cca 0,5kg). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.

• **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na licí teplotu. Promíchání taveniny.

• **Odběr KA**

- **Desoxidace a odsíření:** Si a Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Si a Mn pod strusku. Desoxidovadla se vsází pod hladinu pomocí Ni či Fe uzavřené krabičky. Ponechá se 1 min rozpouštět. Promíchání taveniny. Naplnění kokily dusíkem a její přikrytí.
- **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadině rozkován do plochy a ohnut za tepla o 180 °C. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlije se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
- **Konečná desoxidace** CaSi zbytek do vsázky.
- **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na licí teplotu 1500-1550 °C. Teplota se určuje ponorným pyrometrem. Tavič stáhne strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravených kokil, která může být naplněna argonem. Když tavenina v kokile dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu naplní hlavu kokily. Ihned po dolití pomocník zasype hlavu exotermickým zásypem KV17Al (cca 2kg).
- **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom

ingot s kokilou převeze pomocí jeřábu na chladicí pole, kde ho nechá chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.

- **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí závěsné digitální váhy zváží. Provede se záznam o tavbě a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu
- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením a normou slitiny.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi50**Tavení a lití na peci SF1000**

Do vsázky je povoleno použít max.80% homogenizovaných, nebo jinak vhodně upravených odpadů.

Materiál : (hustota 8,3g/cm ³) FeNi50 kal.č. 250			Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 230-185 mm deska 145 x 325 x 1000				
Chemické složení			Směrné složení		Vsázka kg - pec SF 1000				
prvek	%		prvek	%	čep (2ks)				deska (2ks)
	min.	max.			Ø 230	Ø 215	Ø 200	Ø 185	
Ni	49,0	50,50	Ni	50	520,0	475,0	410,0	350,0	510
Mn	0,30	0,60	Fe	48,4	511	466,0	403	339,0	501
Si	0,15	0,30	Mn	0,4	4,0	4,0	3,1	2,0	4,0
Fe	-	zbytek	Si	0,2	2,0	2,0	1,6	1,4	2,0
Al	-	0,10	NiMg15	0,3	3,0	3,0	2,3	2,0	3,0
Cu	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-
C	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-
P	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
S	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Celkem				100	1040	950	820	700	1020

Tavící a lící zařízení SF 1000

- **Pec:** Středofrekvenční kelímková pec SF1000. Pomocí železné nebo niklové šablony je vydusán kelímek na 1000 kg taveniny hmotou Lúrcorma 10 (87% Al₂O₃).
- **Kokila:** Litinové kokily Ø 265-215 mm. Kokila je předehřátá na teplotu 120°C
- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená, vypálená a předehřátá na teplotu 120 °C.

- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyformovaná superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) s vloženým hradítkem, důkladně vypálená a předehřátá na teplotu 120 °C. Průměr licího otvoru je 15-20 mm. Sestava kokily s hlavou je umístěna na licím zařízení, nálevka na stojanu.
- **Kovací zkouška:** Malý grafitový kelímek na odběr vzorku z taveniny. Speciální kokilka určená jen pro kovací zkoušku. Kladivo. Kovářská kovadlina.
- **Tavbový vzorek:** Vzorek pro (KA) se odebírá grafitovým kelímkem a přelévá se do předehřáté kruhové litinové kokilky ozn.. ARL O2 .
- **Měření teploty:** Teplota se měří ponorným pyrometrem. V průběhu tavení možná informativní kontrola teploty taveniny Ni drátem.
- **Krytí taveniny:** Pro krytí lázně používat strusku

Tavení a odlévání

- **Vstup:** tavit se dovoluje na nové vyzdívce po sintrovací tavbě Fe či Ni nebo po vhodných Ni slitinách. Při přechodu na tavení po nevhodných slitinách (Kovar, FeNi80Mo4) je nutno pec vyčistit od zbytků taveniny a provést výplach Fe nebo Ni.
- **Sázení:** na dno kelímku se vsadí polovina Ni katod všechno Fe v případě čisté vsázky, nebo homogenizovaný či kusový odpad. max.80% vsázky. Potom Cu katody a navrch zbytek Ni katod. Vsazovaný materiál je nutno předehřát na okraji pece nebo sázet na neúplně roztavenou vrstvu, aby se stačil vysušit a předehřát před ponořením do taveniny.
- **Tavení:** Taví se plynule při 230-270 KW budícího napětí. Po roztavení celé vsázky tavič pec vypne, stáhne strusku a lázeň přikryje struskou, tak aby byla stejnoměrně pokryta celá plocha taveniny.
- **Desoxidace:** Al (upevněný na tyči pod hladinu taveniny). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.
- **Odběr vzorku:** Předběžný tavbový vzorek se odebere do grafitového kelímku a odlije se do kruhové litinové kokily pro kvantometrickou analýzu (KA).

- **Desoxidace:** CaSi cca 1/2 vsázky (1m plněného profilu drátu váží cca 0,5kg). Promíchání taveniny a nové krytí struskou.

- **Dolegování:** Podle výsledku KA se doleguje na směrné chemické složení a ohřeje taveninu na lící teplotu. Promíchání taveniny.

- **Odběr KA**

- **Desoxidace a odsíření:** Mn Při vypnuté peci se vsadí celá dávka Mn pod strusku pomocí Ni či Fe uzavřené krabičky. Ponechá se 1 min rozpouštět. Promíchání taveniny. Naplnění kokily dusíkem a její přikrytí.
- **Kovací zkouška:** Grafitovým kelímkem se odebere vzorek taveniny na kovací zkoušku. Tavenina se přelije do speciální kokilky. Po vyklepnutí odlitku z kokilky vznikne tyčinka, jejíž konec je pomocí kladiva na kovadlině rozkovan do plochy a ohnut za tepla o 180°. Na ohybu ani po stranách ohybu nesmí být žádné praskliny. Pokud kovací zkouška nevyhoví zopakuje se cyklus desoxidace max.2 krát. Nepodaří-li se zlepšit kujnost odebraného vzorku tak, aby kovací zkouška nepraskala, odlíje se tavba a použije se do vsázek. Na kovací zkoušku vyrazí tavič číslo tavby, a uschová ji pro kontrolu, kterou provádí technolog nebo mistr provozu.
- **Konečná desoxidace** CaSi zbytek do vsázky.
- **Odlévání:** Tavenina se ohřeje na lící teplotu 1500-1550 °C. Teplota se určuje ponorným pyrometrem. Tavič sebere strusku a co nejrychleji taveninu odlije do připravených kokil, která může být naplněna argonem. Když tavenina v kokile dostoupí ke spodnímu okraji hlavy, zmírní proud taveniny a pomalu naplní hlavu kokily. Ihned po dolití pomocník zasype hlavu exotermickým zásypem KV17Al (cca 2kg).
- **Tuhnutí:** Po odlití nechá ingot tuhnout na místě po dobu 10-15 min. Potom ingot s kokilou převeze pomocí jeřábu na chladicí pole, kde ho nechá chladnout po dobu 120 minut. Potom je jeřábem sejmuta žárová hlava a vyjme se ingot z kokily.

- **Značení čepů:** Tavič nebo pomocník taviče vyznačí ražením na těle ingotu materiál, číslo tavby a pořadí ingotu v tavbě. Vychladlý ingot se pomocí závěsné digitální váhy zváží. (provede se záznam o tavbě a váze odlitého ingotu do licí knihy a výrobního plánu.
- **Kontrola:** Pracovník OŘJ HS zkontroluje chemické složení a jakost povrchu a uvolní ingot k dalšímu opracování. Uvolněné ingoty označí barevným značením (dle TPS 002/97) a normou slitiny.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi42**Část 1 - tavení a lití na peci KOPP**

Vstupní suroviny: Do vsázky je možno použít vlastní kusový odpad. Maximální množství homogenizovaného odpadu bez hlavy a paty ingotu.

Příprava vsázky: Do vsázky je povoleno použít max.80 %

Materiál : hustota 8,2g/cm ³ FeNi42 kal.č. 243		Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 230-185 mm deska 145 x 310 x 1000					
Chemické složení			Směrné složení		Vsázka kg - pec SF 1000				
prvek	%		prvek	%	čep (2ks)				deska (2ks)
	min.	max.			Ø 230	Ø 215	Ø 200	Ø 185	
Ni	41,50	42,0	Ni	42,0	428,0	395,0	340,0	290,0	420,0
Fe	-	zbytek	Fe	57,4	586,0	539,4	465,0	396,0	574,0
Mn	-	0,35	Mn	0,3	3,0	2,8	2,4	2,0	3,0
Si	-	0,30	Si	0,2	2,0	1,9	1,6	1,4	2,0
Al	-	0,10	NiMg15	0,1	1,0	0,9	0,9	0,6	1,0
Cu	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-
C	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-
P	-	0,015	-	-	-	-	-	-	-
S	-	0,015	-	-	-	-	-	-	-
Celkem				100	1020,-	940,-	810,-	690,-	1000,-

Tavící a licí zařízení KOPP

- **Pec** - středofrekvenční kelímková vakuová pec KOPP, která se skládá ze tří vzájemně oddělitelných komor (1-sázecí, 2-tavící, 3-licí).

- **Kelímek:** je vydusán hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃) má objem na cca 1000 kg taveniny (120dm³). Šablona (Ø510x1020mm) je z niklového plechu tloušťky 5 mm.
- **Kokily** - ocelolitina

Rozměr kokily (mm)	Číslo výkresu
Ø 215 x 1160	S-0 187/b
Ø 230 x 1160	S-0 187/d
Ø 245 x 1160	S-0 187/a
Ø 265 x 1160	S-0 187/c
Desková 165 x 325 x 1050	S-2344

Kokily jsou předehřáty na teplotu 130 °C bez vymazání

- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená, vypálená a předehřátá na teplotu 200 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyzděná žáruvzdornými tvarovkami, vydusaná žáruvzdornou hmotou důkladně vysušená a předehřátá na teplotu 200 °C. Průměr licího otvoru je 20-25 mm. Sestava dvou kokil s hlavou je umístěna v kokilové komoře, nálevky jsou zavěšeny na otočném kříži
- **Tavbový vzorek:** pro kvantometrickou analýzu(KA) se odebírá do kruhové litinové kokilky ozn.. ARL O2
- **Vzorek na dilatace:** se odebírá do skleněné trubičky vnitřního průměru 4 mm speciální litinovou kokilkou ozn. S-15-124.
- **Měření teploty:** Teplota se měří optickým pyrometrem, který je kalibrován pyrometrem ponorným.

Postup tavení a lití

- Nasadit pomocí sázecího koše na dno kelímku 1/2Ni katod, homogenizace FeNi, Fe behanit, nakonec zbytek Ni katod.
- Uzavřít tavicí komoru
- Vakuovat až na tlak 80-100Pa
- Natavovat vsázku na plný výkon pece 370KW.
- Po roztavení části vsázky dosadit zbytek vsázky pomocí sázecího zařízení (pod vakuem).
- Upravit teplotu na $1500\pm 10^{\circ}\text{C}$ po roztavení celé vsázky
- Odplynit taveninu při sníženém výkonu pece 1/3 .Vakuovat na tlak 80-100Pa až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 15 min.
- Napustit do tavicí komory dusík na tlak 9-12 mbar.
- Desoxidace č.1 Mn ,Si , pomocí sázecího zařízení při vypnuté peci.
- Promíchat taveninu el. výkonem po dobu 2 minut-plný výkon pece.
- Vakuovat na tlak 80-100 Pa až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 20 min.
- Odebrat tavbový vzorek pomocí sázecího zařízení do vymazané litinové kokily při sníženém výkonu pece na 1/3.
- Ochladit vzorek ve vodě. Rozříznout na pile P27. Označit číslem tavby, pořadím odebraného vzorku a s vyplněnou žádankou zaslat potrubní poštou na chemickou analýzu (KA)
- Snížit výkon pece 1/3po dobu čekání na KA.

- KA- nevyhovující - dolegovat korekční množství vsázky. Promíchat taveninu min. 10 minut el.proudem - plný výkon pece. (Při opětné nevyhovující KA opakovat výše uvedené body)
- Vakuovat na tlak 80-100Pa, při vypnuté peci až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 10 min.
- Odebrat nový tavbový vzorek pomocí sázecího zařízení do vymazané litinové kokily při sníženém výkonu pece 1/3.

- KA- vyhovující
- V průběhu tavení je nutno připravit lící komoru pro dvě kokily v odlévací sestavě (nálevka, hlava, kokila, dno s čočkou a rezervní třetí kokilou pro vylití zbytku taveniny)
- Uzavřít lící komoru s připravenou kokilovou sestavou
- Vakuovat lící komoru na tlak 80 -100Pa
- Napustit obě komory (tavící i lící) dusíkem na tlak 9-12mbar.
- Otevřít dveře a propojit tak tavící a lící komorou.
- Desoxidace č.2 – NiMg15 pomocí sázecího zařízení při ½ výkonu pece
- Upravit lící teplotu na $1540\pm 10^{\circ}\text{C}$.
- Odlévat z vypnuté pece do dvou připravených kokil.
- Dbát při lití, aby nálevka byla do poloviny naplněna taveninou.
- Dolévat do plné hlavy
- Po vylití celé natavené vsázky uzavřít dveře mezi tavící a lící komorou.
- Odlité čepy ponechat tuhnout minimálně 15 min. v lící komoře.
- Zkontrolovat stav výdusky kelímku pomocí průzoru u pece.
- Vsázet další vsázku pod vakuem na dno kelímku pomocí sázecího zařízení přes sázecí komoru.
- Po 15 minutách napustit do lící komory vzduch.
- Otevřít lící komoru. Vyjmout pomocí jeřábu kokily s odlitým ingotem z lící komory a postavit je na chladicí pole. Po uplynutí 60minut tuhnutí odlitku vyjmout odlitek z kokily.

Technologie výroby ingotů ze slitiny FeNi50

Tavení a lití na peci KOPP

Hutní slévárna

Vstupní suroviny: Do vsázky je možno použít vlastní kusový odpad. Maximální množství homogenizovaného odpadu bez hlavy a paty ingotu.

Příprava vsázky: Do vsázky je povoleno použít max.80 %

Materiál : hustota 8,3g/cm ³ FeNi50 kal.č. 250			Norma: TPS 02/97		Výrobek: čep Ø 230-185 mm deska 145 x 325 x 1000				
Chemické složení			Směrné složení		Vsázka kg - pec SF 1000				
prvek	%		prvek	%	čep (2ks)				deska 2 (ks)
	min.	max.			Ø 230	Ø 215	Ø 200	Ø 185	
Ni	49,0	50,50	Ni	50	520,0	475,0	410,0	350,0	510
Mn	0,30	0,60	Fe	48,4	511	466,0	403	339,0	501
Si	0,15	0,30	Mn	0,4	4,0	4,0	3,1	2,0	4,0
Fe	-	zbytek	Si	0,2	2,0	2,0	1,6	1,4	2,0
Al	-	0,10	NiMg15	0,3	3,0	3,0	2,3	2,0	3,0
Cu	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-
C	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-
P	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
S	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Celkem				100	1040	950	820	700	1020

Tavící a licí zařízení KOPP

- **Pec:** středofrekvenční kelímková vakuová pec KOPP, která se skládá ze tří vzájemně oddělitelných komor (1-sázecí, 2-tavící, 3-licí).
- **Kelímek:** je vydusán hmotou Lúcorma 10 (87% Al₂O₃) má objem na cca 1000 kg taveniny (120dm³) Šablona (Ø510x1020mm) je z niklového plechu tloušťky 5 mm.
- **Kokily:** - ocelolitina

Rozměr kokily (mm)	Číslo výkresu
Ø 215 x 1160	S-0 187/b
Ø 230 x 1160	S-0 187/d
Ø 245 x 1160	S-0 187/a
Ø 265 x 1160	S-0 187/c
Desková 165 x 325 x 1050	S-2344

Kokily jsou předehřátý na teplotu 130 °C bez vymazání

- **Hlava:** Snímatelná žárová hlava z lité oceli dle výkresu V-300 a vylitá superbetonem SB160 a vymazaná KERAVITEM (šamotová malta) důkladně vysušená, vypálená a předehřátá na teplotu 200 °C.
- **Nálevka:** Nálevka je z ocelového plechu vyzděná žáruvzdornými tvarovkami, vydusaná žáruvzdornou hmotou důkladně vysušená a předehřátá na teplotu 200 °C. Průměr licího otvoru je 20-25 mm. Sestava dvou kokil s hlavou je umístěna v kokilové komoře, nálevky jsou zavěšeny na otočném kříži.
- **Tavbový vzorek:** pro kvantometrickou analýzu(KA) se odebírá do kruhové litinové kokilky ozn.. ARL O2
- **Vzorek na dilatace:** se odebírá do skleněné trubičky vnitřního průměru 4 mm speciální litinovou kokilkou ozn. S-15-124.
- **Měření teploty:** Teplota se měří optickým pyrometrem, který je kalibrován pyrometrem ponorným.

Postup tavení a lití

- Nasadit pomocí sázecího koše na dno kelímku 1/2Ni katod, homogenizace FeNi, Fe behanit, nakonec zbytek Ni katod.
- Uzavřít tavicí komoru
- Vakuovat až na tlak 80-100Pa
- Natavovat vsázku na plný výkon pece.
- Po roztavení části vsázky dosadit zbytek vsázky pomocí sázecího zařízení (pod vakuem).
- Upravit teplotu na $1500\pm 10^{\circ}\text{C}$ po roztavení celé vsázky
- Odplynit taveninu při sníženém výkonu pece 1/3 .Vakuovat na tlak 80-100Pa až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 15 min.
- Napustit do tavicí komory dusík na tlak 9-12 mbar.
- Desoxidace č.1 Mn ,Si , pomocí sázecího zařízení při vypnuté peci.
- Promíchat taveninu el.výkonem po dobu 2 minut-plný výkon pece.
- Vakuovat na tlak 80-100 Pa až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 20 min.
- Odebrat tavbový vzorek pomocí sázecího zařízení do vymazané litinové kokily při sníženém výkonu pece na 1/3.
- Ochladit vzorek ve vodě. Rozříznout na pile P27. Označit číslem tavby, pořadím odebraného vzorku a s vyplněnou žádankou zaslat potrubní poštou na chemickou analýzu (KA)
- Snížit výkon pece 1/3po dobu čekání na KA.

- KA- nevyhovující - Dolegovat korekční množství vsázky. Promíchat taveninu min.10 minut el. proudem- plný výkon pece. (Při opětné nevyhovující KA opakovat výše uvedené body – odběr KA)
- Vakuovat na tlak 80-100Pa, při vypnuté peci až do uklidnění hladiny taveniny minimálně však 10 min.
- Odebrat nový tavbový vzorek pomocí sázecího zařízení do vymazané litinové kokily při sníženém výkonu pece 1/3.

- KA- vyhovující
- V průběhu tavení je nutno připravit lící komoru pro dvě kokily v odlévací sestavě (nálevka, hlava, kokila, dno s čočkou a rezervní třetí kokilou pro vylití zbytku taveniny)
- Uzavřít lící komoru s připravenou kokilovou sestavou
- Vakuovat lící komoru na tlak 80 -100Pa
- Napustit obě komory (tavící i lící) dusíkem na tlak 9-12mbar.
- Otevřít dveře a propojit tak tavící a lící komorou.
- Desoxidace č.2 – NiMg15 pomocí sázecího zařízení při ½ výkonu pece
- Upravit lící teplotu na 1540 ± 10 °C.
- Odlévat z vypnuté pece do dvou připravených kokil.
- Dbát při lití, aby nálevka byla do poloviny naplněna taveninou.
- Dolévat do plné hlavy.
- Po vylití celé natavené vsázky uzavřít dveře mezi tavící a lící komorou.
- Odlité čepy ponechat tuhnout minimálně 15 min. v lící komoře.
- Zkontrolovat stav výdusky kelímku pomocí průzoru u pece.
- Vsázet další vsázku pod vakuem na dno kelímku pomocí sázecího zařízení přes sázecí komoru.
- Po 15 minutách napustit do lící komory vzduch
- Otevřít lící komoru. Vyjmout pomocí jeřábu kokily s odlitým ingotem z lící komory a postavit je na chladicí pole. Po uplynutí 60minut tuhnutí odlitku vyjmout odlitek z kokily.

6.2. Metodika vyhodnocování pasů – zpětná vazba

Statistické sledování slitin FeNi42, FeNi47Cu5 a FeNi50 bylo prvně použito v průběhu roku 2008 a 2009. V prvním roce 2008 byla zkušebně sledována pouze slitina FeNi47Cu5, které byla jako nově zaváděné slitině do výroby a byl zde značný zájem zahraničních odběratelů (který stále přetrvává). V průběhu roku se pak zavedlo statistické sledování u všech vyráběných slitin. Rok 2009 byl bohužel ovlivněn ekonomickou recesí, která vedla k tomu, že v průběhu roku bylo realizováno poměrně málo taveb. Níže uvedené statistické sledování je zvolené v těchto letech vzhledem k tomu, že většina experimentálních taveb v rámci disertační práce probíhala právě v tuto dobu.

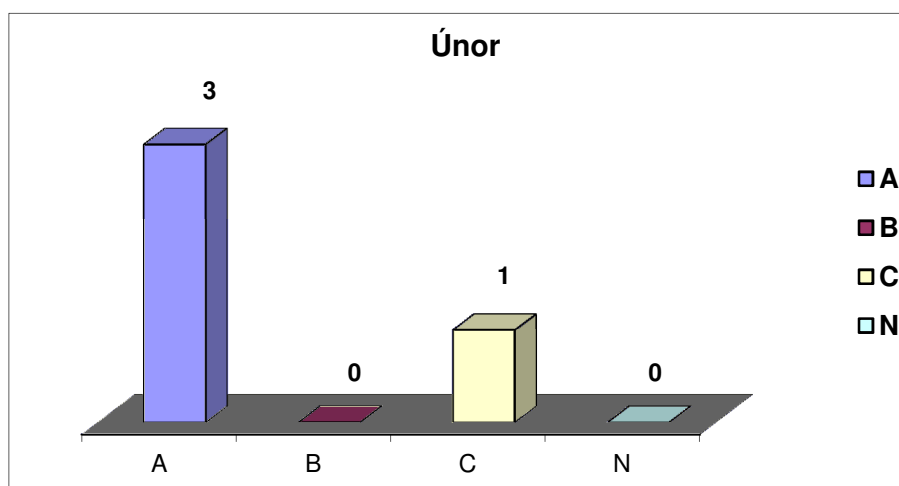
V celkovém rozsahu prací a vyhodnocování v rámci této disertační práce a následně také jiných externích či interních řešených výzkumných projektů, bylo nutné si stanovit statistické sledování kvality finálních pasů po teplém válcování (finální vývalek – pas tloušťky 9 mm a délky cca. 15 m). Toto statistické sledování po tepelném válcování pak dále sloužilo jako zpětná vazba pro vyhodnocování vlivu způsobu tavení a lití na výslednou kvalitu pasu. Toto statistické sledování muselo tedy zahrnout záznam určitých informací například, jakou technologií byly tavby provedeny, za jakých podmínek. Také bylo potřeba zaznamenávat všechny anomálie, které při tavení slitin a lití mohou nastat. Pro tyto účely byly upraveny stávající tavební knihy, které byly rozšířené o záznamy potřebný k následnému vyhodnocování (viz příloha č.5). Jednalo se především o druh použité vyzdívky, strusky, zvoleného postupu desoxidace s řádně uvedeným množstvím každého desoxidovadla, teplotu předehřátí kokil, zda bylo použité hradítko v nálevce a jiné.

Všechny údaje, které byly zaznamenány v rámci statistického sledování jsou uvedeny v tabulce která je přílohou č.4 a v níže uvedených grafech a tabulkách. Po teplém válcování na vratné válcovací stolici DUO ŠKODA, byly vývalky (pasy) hodnoceny následující způsobem:

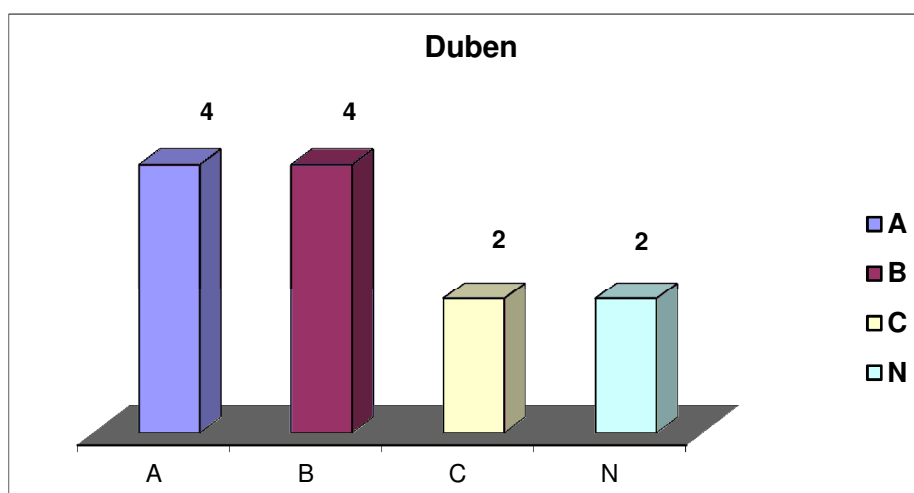
- **A bez zapraskání** - kdy jsou okraje pasů pouze mírně zvrásněné
- **B zapraskání do hloubky 15 mm** – k zapraskání u pasů dochází po obou stranách
- **C zapraskání do hloubky 30 mm** – k zapraskání dochází po obou stranách pasu u hlavy a paty více
- **N nedoválcováno** – obvykle při výrazném zapraskání pasu, ke kterému docházelo převážně mezi 2-4 úběrem, přerušení válcování a vyjmutí z válcovací stolice

Vyhodnocení statistického sledování slitiny FeNi47Cu5 rok 2008

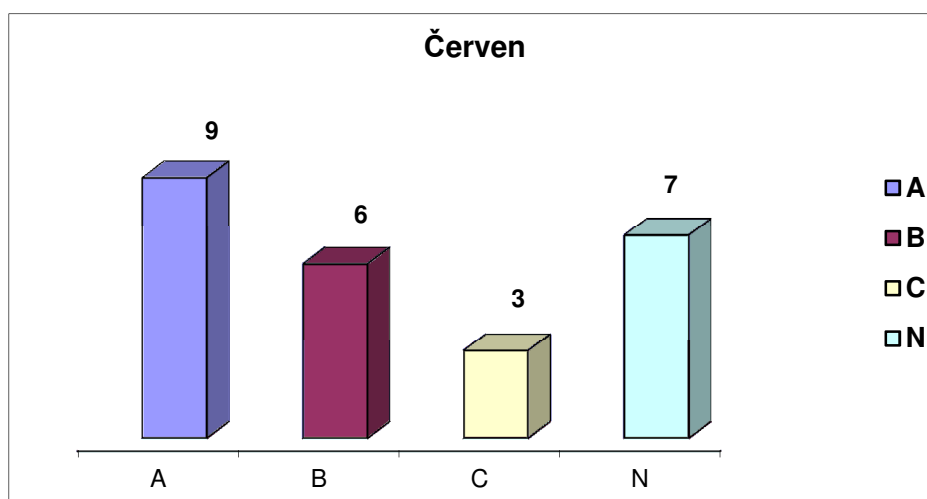
Grafické vyhodnocení bylo zpracováno z tabulek statistického sledování uvedených v příloze č.4



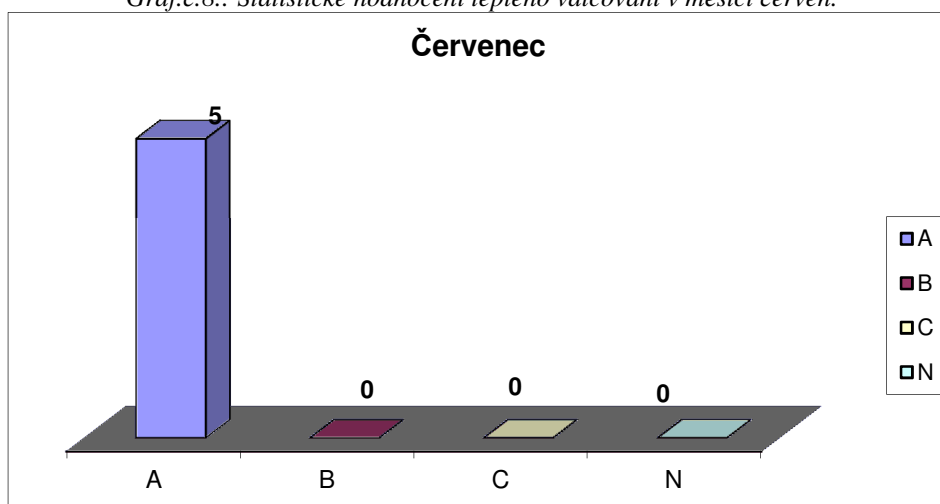
Graf.č.6.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci únor.



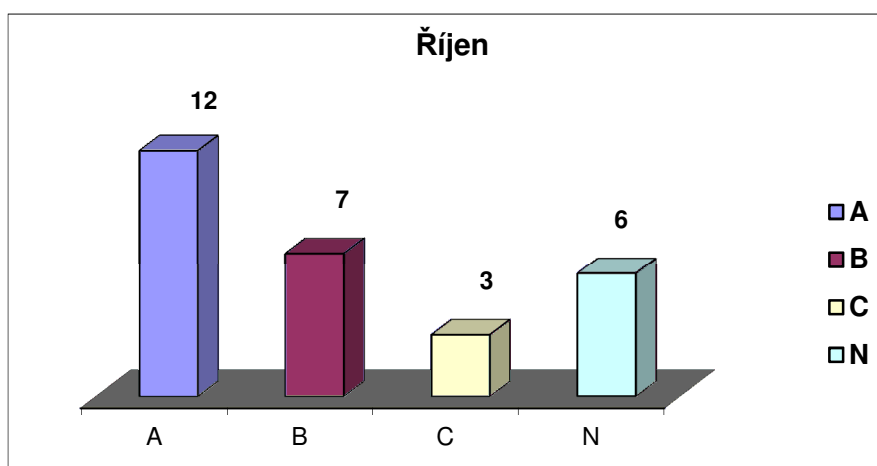
Graf.č.7.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci duben.



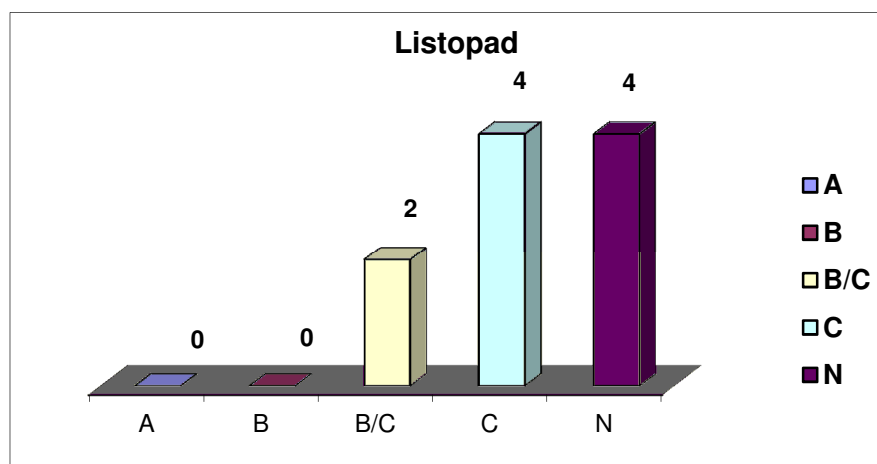
Graf.č.8.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci červen.



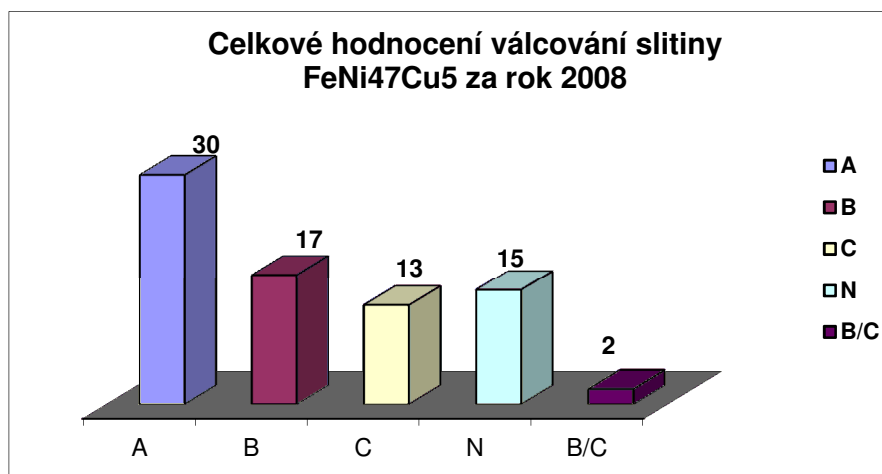
Graf.č.9.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci červenec.



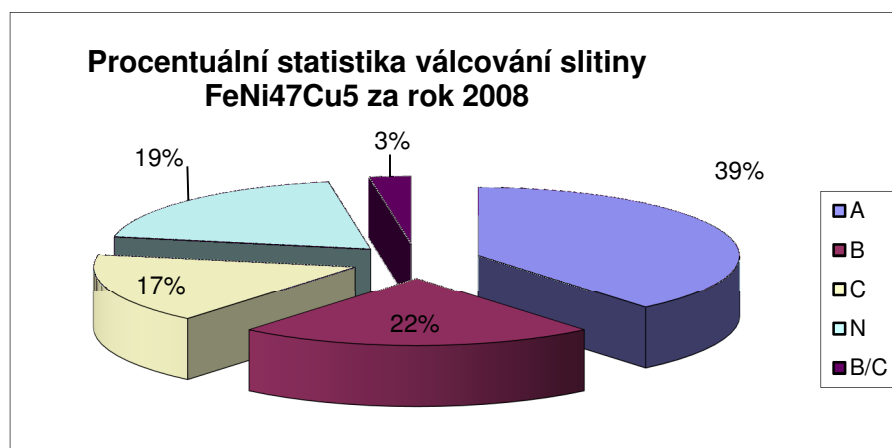
Graf.č.10.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci říjen.



Graf.č.11.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci listopad.



Graf.č.12.: Statistické hodnocení teplého válcování v průběhu roku 2008.



Graf.č.13.: Procentuální statistické hodnocení teplého válcování v průběhu roku 2008

Při počátečním zkušebním statistickém sledování slitiny FeNi47Cu5 v průběhu roku 2008 bylo celkem hodnoceno 81 odlitých ingotů. Z toho byly 2 tavby odlity na středofrekvenční kelímkové vakuové peci KOPP VSK 120s a 39 taveb na otevřené indukční peci SF 1000kg se 71 odlitými čepy. V průběhu celého roku byly odlity ze dvou taveb 4 ploché ingoty, které jsou také ve statistice zahrnuty. Všechny 4 tyto ploché ingoty jsou v tabulce označeny (viz.příloha č.4). Z celkového počtu 81 ingotů byly 4 ingoty vyřazeny pro poruchu zařízení válcovny. Celkové statistické hodnocení je tedy z konečného počtu 77 ingotů.

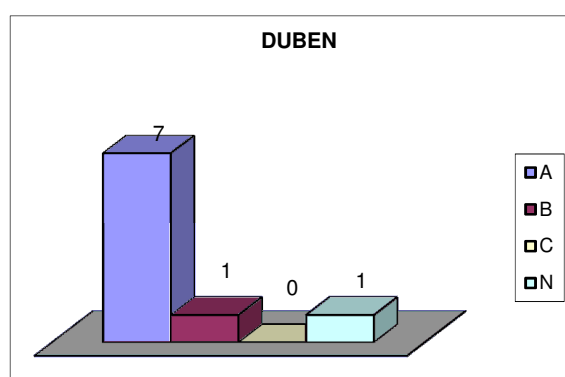
- Kategorie A - 30kusů 39%
- Kategorie B - 18kusů 22%
- Kategorie B/C - 2kusy 3%
- Kategorie C - 14kusů 18%
- Kategorie N - 15kusů 19%

Jednalo se o první statistické sledování a zpracování výsledků tavení, lití, ohřevu a válcování slitin na bázi Fe-Ni. Které mělo kladný dopad na výrobu těchto slitin, převážně pak na zpětné vyhodnocování možných příčin zapraskávání pasů při

teplém válcování. Vzhledem k těmto skutečnostem bylo přistoupeno k rozšíření tohoto statického sledování pro rok 2009 také na ostatní slitiny typu FeNi.

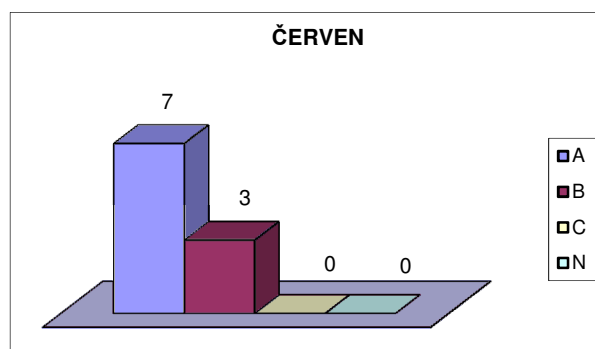
Vyhodnocení statistického sledování slitin FeNi rok 2009

Grafické vyhodnocení bylo zpracováno z tabulek statistického sledování uvedených v příloze č.6.



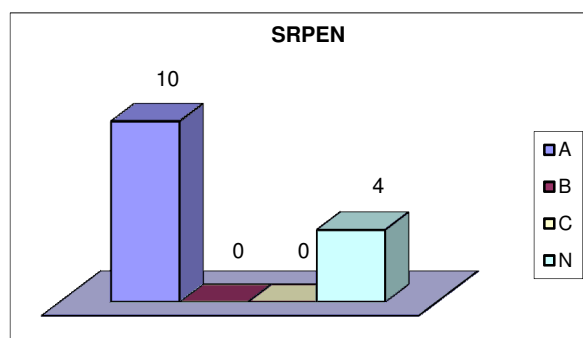
Duben	A	B	C	N
FeNi42	2	1	0	0
FeNi47Cu5	1	0	0	1
INVAR	2	0	0	0
KOVAR	2	0	0	0
Celkem	7	1	0	1

Graf.č.14.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci dubnu.



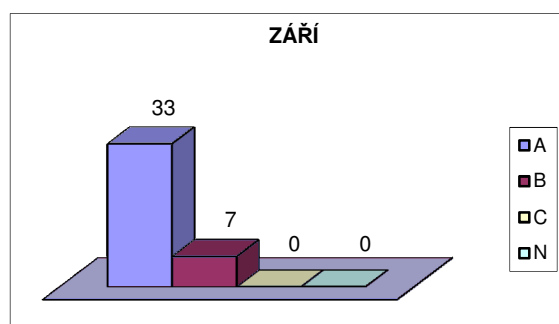
Červen	A	B	C	N
FeNi42	0	3	0	0
KOVAR	5	0	0	0
INVAR	2	0	0	0
Celkem	7	3	0	0

Graf.č.17.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci červnu.



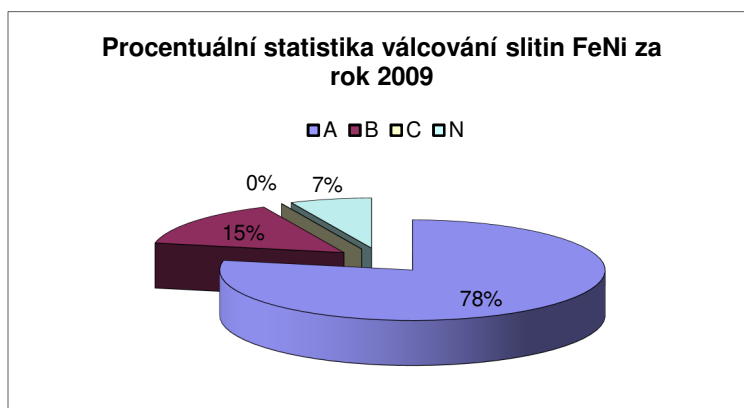
Srpen	A	B	C	N
FeNi42	4	0	0	0
FeNi50	2	0	0	2
FeNi47Cu5	4	0	0	2
Celkem	10	0	0	4

Graf.č.18.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci srpen.



Září	A	B	C	N
FeNi42	26	7	0	0
PyMo4	7	0	0	0
Celkem	33	7	0	0

Graf.č.19.: Statistické hodnocení teplého válcování v měsíci září.



Graf.č.20.: Procentuální statistické hodnocení teplého válcování v průběhu roku 2009

Celkem bylo hodnoceno ve sledované statistice za rok 2009 slitiny FeNi taveb a 73 ingotů.

- Kategorie A – 37 kusů 78%
- Kategorie B – 11 kusů 15%
- Kategorie C – 0 kusů 0%
- Kategorie N – 5 kusů 7%

Jednalo se o první statistické zpracování výsledků tavení, lití, ohřevu a válcování všech slitin na bázi FeNi za jeden rok (2009). U tohoto statistického sledování bylo potřeba brát zřetel na pokles výroby vlivem ekonomické recese. V následujících letech se tato statistická hodnocení stala součástí běžné výroby ve společnosti KORO, a to hlavně jako zpětná vazba mezi provozy válcovny a slévárny.

7. Diskuze výsledků

V průběhu řešení disertační práce a během řešení výzkumných projektů, které se zabývaly problematikou výroby ingotů, bylo již od počátku patrné, že bude potřeba přistoupit k řešení závažné problematiky výskytu nečistot a vměstků, které se vyskytovaly v odlévaných vstupních polotovarech. Ingoty jsou vyráběné ve slévárnách společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. na několika možných agregátech. Jedná se především o otevřené elektrické indukční tavící pece SF 250 a SF 1000, dále pak o vakuovou elektrickou indukční pec KOPP a v pozdější fázi řešení výzkumných projektů taky o novou hybridní tavící pec Consarc (2,5t) s možností využití vyššího vakua po natavení a argonování taveniny.

Základním bodem pro řešení disertační práce se pak stal poznatek negativního vlivu nerozpuštěných vměstků a nečistot přítomných v odlitých polotovarech ve výše uvedených pecích a to hlavně u polotovarů odlévaných na SF 250 a SF 1000. Tyto nečistoty měly vliv na výslednou kvalitu válcovaných pasů a plechů. Jedním z hlavních směrů řešení se tedy stala problematika správné desoxidace a využití vakua při přetavování vratného odpadu jako jsou hlavy a paty odlitků, odstřížky pasů při výrobě válcovaných plechů, třísky z apretace ingotů, řezání ingotů a frézování válcovaných pasů za studena.

Důležitým poznatkem byla nutnost homogenizace výše uvedené vsázky z technologického odpadu, čímž došlo k odstranění větší části vměstků a nečistot vznikajících natavováním znečištěného či ne příliš kvalitního odpadu. Takto zhomogenizovaný odpad (kde se podařilo výrazně snížit obsah kyslíku) na indukčních otevřené peci SF 1000 se pak stal vhodnou vstupní surovinou pro přípravu ingotů. Takto připravená vstupní surovina byla opět vsazena do tavících agregátů, dle druhu slitiny do otevřených indukčních pecí (SF 1000 a SF 250) či vakuové indukční pece KOPP. Při tavení na otevřených pecích jsme se zaměřili převážně na dobře zvolenou a co nejlépe provedenou desoxidaci taveniny. U některých druhů slitin se pak využily k zvýšení jakosti odlévaných ingotů vakuové

pece.

V průběhu posledního čtvrtletí roku 2011 a v průběhu celého roku 2012, bylo úspěšně realizováno několik experimentálních taveb na nové hybridní peci Consarc 2,5t. V rámci dalšího řešení, ale muselo být bohužel od tohoto technologického postupu výroby ingotů ustoupeno. Dne 4.1.2013 došlo k závažné havárii na tomto tavícím agregátu.

Další řešenou problematikou byl vliv síly stěny kokily a tvaru kokily na primární krystalizaci. Zaměříme-li se prvotně na problematiku síly stěny kokily, je třeba konstatovat, že srovnáním technologií tavení na vakuové peci a na otevřených středofrekvenčních pecích SF 1000, poukazuje na lepší kvalitu ingotů a následně také valcovaných pasů technologie tavení a lití na otevřené středofrekvenční peci SF1000. Většina provedených taveb na této peci, byla v konečném technologickém postupu vyválcována bez zapraskání. Je třeba konstatovat, že důležitým faktorem je zde možnost lepší rafinace při tavení na otevřené peci, než je tomu u vakuové pece KOPP.

Silnostěnné kokily, které byly pořízeny v rámci experimentů, prokázaly dílčí zlepšení v primární krystalizaci. Tato primární krystalizace má vliv na další zpracování ingotů za tepla (válcování za tepla). Větší tloušťka stěny kokily měla za následek zpomalení primární krystalizace, což napomohlo ke zpomalení teplotního spádu a tím vznikl dostatek času pro tvorbu rozsáhlejší kolumnární zóny, zlepšení homogenity struktury a zjemnění středové a podpovrchové oblasti ingotu. Tato struktura pak měla lepší podmínky pro válcování za tepla, kdy dochází k zamezení šíření trhlin po hranicích zrn při válcování za tepla.

Zkoušky tavení a lití plochých ingotů se pak ukázaly jako přínosné. Větší tloušťka stěn kokily ($t = 100$ mm, v hlavové a patní části dokonce $t = 125$ mm) měla za následek zlepšení primární krystalizace. Dále došlo k zjemnění středové části a snížení transkrystalických oblastí.

Hlavním nedostatkem technologie odlévání ingotů do plochých kokil bylo válcování za tepla, které jak bylo dříve zmíněno je realizováno v odporové krokové

peci FURNAX. V průběhu první experimentů se ukázalo, že tato pec není při vyjímání plochých ingotů příliš vhodná. Vyjímání plochých ingotů a jejich přesun na dopravník válcovací stolice trvá cca. 40s. Během této doby docházelo k vysokému poklesu teploty na stěně ingotu ze strany otevřených dveří pece a vývalek po této straně silně zapraskával (cca. 25 mm).

Hlavním přínosem této technologie, bylo dosažení rovnoměrných mechanických vlastností v celé šířce pasu. Při použití plochých kokil bylo možno dosáhnout při válcování pasů až na šířku 300 mm, která byla zákazníky požadována. Lze také vyslovit domněnku, že u plochých kokil v důsledku podstatně menšího tahového napětí (rovnoběžné s osou válců válcovací stolice) při prostorové napjatosti nedochází k zapraskávání.

Zajímavé poznatky byly patrné při řešení problematiky mikročistoty struktury za pomoci keramických filtrů. Provedené experimentální tavby slitin na bázi FeNi měly prokázat vliv použití keramického filtru VUKOPOR při lití uvedených slitin s vyšší teplotou lití (1540-1550 °C). V provedeném experimentu byly odlity slitiny FeNi42, FeNi50 a FeNi47Cu5. Jednalo se vždy o odlití jedné tavby s filtrem a jedné tavby bez filtru pro možnost srovnání výsledků.

V průběhu lití všech taveb bez použití filtrů proběhlo vše za normálních podmínek a bez komplikací. Při odlévání taveb se zabudovaným keramickým filtrem pak došlo u tavby FeNi47Cu5 k některým anomáliím, které mohly mít vliv na výsledky mikročistoty odlitých čepů. V případě tavby č. 1716 slitiny FeNi47Cu5 docházelo v průběhu lití přes keramický filtr k tuhnutí slitiny, i přes komplikované lití byla všechna tavenina do kokily nalita přes filtr.

U materiálu FeNi50 se vyskytovaly velké vměstky a to převážně v hlavové části obou taveb 1726 a 1727. U tavby 1727 vměstky pravděpodobně souvisely s poměrně rozsáhlou dutinou, která byla částečně vyplněna zbytky strusky a nerozpuštěným cizím předmětem. Z chemického rozboru vyplynulo, že je tvořen pouze železem, uhlíkem a malým množstvím manganu. Jednalo se tedy pravděpodobně o zbytky drátů (nebo něčeho podobného) z nelegované oceli, která

má mikrostrukturu tvořenou feritem a perlitem.

Mikročistota byla hodnocena na vyválcovaných pasech, které byly vyrobeny z výše uvedených taveb. U třech taveb byl použit při odlévání filtr (označeny A) a tři tavby byly bez použití filtru (označení B). Hodnocení probíhalo vždy na pasu z hlavové a patní části čepu z jeho středu a okraje.

Z celkových výsledků hodnocení mikročistoty vyplynulo, že více vměstků se vyskytovalo ve středu pasu než na jeho okrajích a to jak tvárných, tak i netvárných. Výsledná mikročistota K4 byla ve středu pasu více jak dvojnásobná než tomu bylo na jeho okraji. Naopak nebyly pozorovány velké rozdíly ve výsledné mikročistotě mezi hlavou a patou čepu.

Z důvodu určení přesného typu vměstků, byla provedena jejich chemická analýza. Z chemického rozboru vměstků vyplynulo, že se u taveb převážně vyskytovaly nedeformovatelné oxidy hliníku a hořčíku s příměsí křemíku a vápníku. U tavby 1716 byly v matici přítomny karbidy křemíku. Vměstky na bázi síry nebyly detekovány v žádné z taveb.

U taveb odlévaných s filtrem (A) se objevovalo dvojnásobné množství netvárných oxidických vměstků na bázi hořčíku a hliníku než v tavných odlévaných bez filtru (B), ale desetinasobně méně tvárných komplexních oxidických vměstků na bázi křemíku, hliníku a hořčíku. Rozdíly ve výskytu typů vměstků jsou při použití filtrů zcela zásadní a lze konstatovat, že použití filtrů výrazným způsobem snížilo množství tvárných vměstků, ale zvýšil se výskyt vměstků na bázi hlinitanových oxidů. Přesto došlo k poklesu celkové mikročistoty K4 o třetinu.

8. Závěr

V průběhu řešení disertační práce byly definovány některé cíle, které by přispěly ke snížení vzniku vad při odlévání ingotů a bylo tak dosaženo i materiálových úspor. Jednalo se především o:

Definici přesné specifikace vsázkových surovin jak v čistém stavu, tak hlavně vratného technologického odpadu:

- Stanovení max. množství vratného technologického odpadu do vsázky – 80%
- Homogenizace znečištěných odpadů přetavením s vhodnou rafinací na otevřených pecích
- Při tavení na vakuové peci KOPP sázet pouze homogenizované čepy bez hlavy a bez paty

Využití změny tvaru a síly stěny kokily pro možnost úpravy primární krystalizace:

- Dodržení min. tloušťky síly stěny kokily – 60 mm
- Ověření vhodnosti využití plochých kokil

Inovace technologických plánů tavení a lití:

- Použití neutrální vyzdívky Lúcorma (87% Al₂O₃)
- Využití plněného ocelového profilu FeCaSi při desoxidaci
- Použití Ni či Fe uzavřené krabičky při desoxidaci – kdy se desoxidovadla lépe dostávají pod hladinu a dochází tak k účinnější desoxidaci
- Odstoupení od napouštění kokil dusíkem před litím
- Navržení a použití nových tavebních listů a knih – pro lepší sledování složení vsázky, průběhu tavby a záznamu anomálií v průběhu tavení a lití
- Zavedení inovovaných technologických plánů do reálné výroby

Vypracování a provozní zavedení statistického hodnocení zapraskávání pasů se základní zpětnou analýzou pro slévárny:

- Zavedení statistického sledování zapraskávání odlitých polotovarů při válcování za tepla pro zpětnou vazbu

Řešení disertační práce, rozsah prací a zejména experimentů byl rozsáhlý a realizovaný při plném výrobním provozu. Díky dobré spolupráci s pracovníky společnosti KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. a výzkumnými organizacemi, byly v průběhu řešení získány mnohé velmi zajímavé výsledky a řada z nich byla uplatněna dle možností v reálné výrobě (statistické sledování a vyhodnocování, inovované technologické postupy tavení a lití). Řada výsledků však nemůže být ve výrobě realizována vzhledem k ekonomické náročnosti a je zde potřeba pro zavedení dlouhodobého časového horizontu. Jedná se zejména o odlévání ingotů do plochých kokil, které dle průběžných výsledků významně řeší otázku vhodnějšího využití vstupního materiálu a primární krystalizace pro následnou výrobu polotovarů z odlévaných ingotů – válcování za tepla.

Důležitým výsledkem práce bylo snížení zmetkovitosti a tím zvýšení výtěžnosti velmi drahého vstupního materiálu pro výrobu. Docílilo se úspory 0,065kg vstupního materiálu na 1kg finální výroby. Je třeba se zmínit, že jednou z hlavních vsázkových surovin je čistý nikl, který se v průběhu řešení pohyboval v cenovém rozsahu 16tis. – 50tis. dolarů za jednu tunu.

9. Seznam použité literatury

- [1] Vladimír Sedláček : *Neželezné kovy a slitiny*; SNTL Praha 1979
- [2] Doc. Ing. Ivan Zemánek, CSc.; Profesorské přednášky; *Selected problems of the open specimen measurements of soft magnetic materials parameters at AC magnetization*; ISBN 978-80-01-04448-3; Praha 2009
- [3] Phase Diagrams of binary alloys systems (atlas binárních diagramů)
- [4] Magnetostriction – Basic Physical Elements. MTS Sensors Group, 2001.
- [5] ASTM F15
- [6] Z.Faktor, L.Hroudný, I. Starý, Z. Fischer: *Magneticky měkké materiály ve sdělovací technice*; Praha 1961
- [7] F.Eisenkolb: *Železo a jeho slitiny*; Praha 1975
- [8] K.E.Volk: *Nikl und Nickellegierungen*
- [9] Závěrečná zpráva ev.č. FI-IM3/196 – *Vývoj a průmyslový výzkum nového magneticky měkkého materiálu pro elektrotechniku a elektroniku, včetně technologie výroby.*
- [10] Ing. Dr. Vojtěch Jareš: *Metalografie neželezných kovů*; Praha 1950
- [11] Jiří Chvojka: *Neželezné kovy a jejich slitiny*, Praha 1971
- [12] Faktor, Hroudný, Starý a Fischer; *Magneticky měkké materiály ve sdělovací technice*, Praha 1961
- [13] Jaroslav Buchar a Zdeněk Bílek; *Chování kovových materiálů při vysokých rychlostech deformace*, ACADEMIA; Praha 1984
- [14] Prof. Ing. A. Mojžíš, Doc. Ing. F. Pfrogner, CSc.; *Teorie a technologie tváření kovů; Vysoká škola strojní a elektrotechnická*; Plzeň 1977
- [15] Doc. Ing. F. Pfrogner, Ing. M. Martínková, Ing. V. Bernášek, Ing. M. Vydra; *Vývoj a výroba slitiny FeNi42 – dílčí výzkumná zpráva*; Plzeň 1982

- [16] Mikulec, M.; *Vyšetřování magnetických vlastností elektrotechnických plechů; Doktorská disertační práce, ČVUT FEL 1988*
- [17] Rudolf Penis; *Teória tvárnenia kovov*, Trenčín 2007
- [18] Hosford, W. F. Caddell, R. M.; *Metal forming – mechanics and metalurgy*; Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983
- [19] Doc. Ing. Jaroslav Tuček, Ing. Miroslava Světlá; *Technologie výroby pasů ze slitiny FeNi47Cu5 (výzkumná zpráva)*, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s. 2008
- [20] Doc. Ing. Ivan Zemánek, CSc.; *Výzkumná zpráva o měření parametrů magnetického materiálu FeNi47Cu5*, ČVUT Praha 2007
- [21] V.M. Nadutov; *Conduction of studies of phase content and cstructure of Fe-Ni alloys after meeting and hot rokliny*; Academician of N.A.S. of Ukradne, 2009
- [22] Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby FeNi50, FeNi42, Feni47Cu5 – porovnání taveb v závislosti na tavící pepci a síle stěny kokily*, Výzkumná zpráva EUREKA, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [23] Tuček Jaroslav, Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby slitiny PyMo4*, Výzkumná zpráva EUREKA, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [24] Norma ČSN 42 0060; *Vady hutních výrobků z neželezných kovů*, Praha 1971
- [25] Jorg Baier, Martin Koppen; *Handbuch der Gessflehler*, Jahrgang 1994
- [26] Ing. Jaroslav Pilous, Ing. Vojtech Strnad; *Lití a tváření neželezných kovů a slitin*, Praha 1965
- [27] Sedláček V. ; *Technologie neželezných kovů*, MHD, Praha 1954
- [28] Sedláček V.; *Neželezné kovy – hutnické výrobky a jejich použití*; Praha 1957
- [29] Jaroslav Šenberger, Zdeněk Bůžek, Antonín Záděra, Karel Stránský, Václav Kafka; *Metalurgie*; nakladatelství VUTIUM, VUT Brno 2008, ISNB – 987-80-214-3632
- [30] Šenberger, J. Martínek, L.; *Slévárenství*, 1999

- [31] Mašek, B.; *FeNi 42 - slitina se zvýšenou metalurgickou čistotou*; in: 1. International Symposium, Inovace 94, Praha, CZ, 1994
- [32] G V H Wilson, *Nuclear magnetic resonance in iron-rich FeCo and FeNi alloys*, 1964 *Proc. Phys. Soc.* 84 689
- [33] Macháčková Kateřina, Podaný Pavel, Martínek Petr;: *Experimentální tavby s možností využití licích filtrů*: Výzkumná zpráva E-10/3, 2010 Rokycany
- [34] Tuček Jaroslav, Macháčková Kateřina; *Zkušební výroba plochých desek ze slitiny FeNi47Cu5*, Rokycany 2008
- [35] Macháčková Kateřina, Tuček Jaroslav; *Statistické sledování slitiny FeNi47Cu5*, Rokycany 2009

10. Seznam publikovaných i nepublikovaných prací

- [1] Macháčková, K., Štěpánek, I., Hrdý, M.: *Změny porušování systémů tenká vrstva – substrát cyklickou vrypovou při použití různých druhů indentorů*, sborník Metal 2006, Hradec nad Moravicí 2006
- [2] Štěpánek, I., Macháčková, K., Netušilová, D., Černý, F., Hořejš, S., : *Porovnání mechanických vlastností a chování vybraných systémů tenká vrstva – substrát z klasického CVD, nízkoteplotního PACVD a PVD*, sborník Metal 2006, Hradec nad Moravicí 2006
- [3] Macháčková, K., Štěpánek, I., Palubjaková, J.: *Hodnocení šíření porušení cyklickou vrypovou zkouškou na systémech s tenkými vrstvami*, sborník Metal 2007, Hradec nad Moravicí 2007
- [4] Macháčková, K., Štěpánek, I., Palubjaková, J.: *Hodnocení šíření porušení cyklickou vrypovou zkouškou na systémech s tenkými vrstvami*, sborník Metal 2007, Hradec nad Moravicí 2007
- [5] Štěpánek, I., Macháčková, K., Netušilová, D., Černý, F., Hořejš, S. : *Porovnání chování při indentačním procesu namáhání systémů s tenkými vrstvami PACVD*, sborník Metal 2007, Hradec nad Moravicí 2007
- [6] Štěpánek, I., Macháčková, K.: *Studium vlastností a chování systémů tenká vrstva – sklo pomocí indentačních zkoušek*, sborník Metal 2007, Hradec nad Moravicí 2007
- [7] Macháčková, K., Štěpánek, I., : *Detailní studium specifických porušení systémů tenká vrstva – substrát při vrypové indentaci*, sborník Metal 2008, Hradec nad Moravicí 2008
- [8] Palubjaková, J., Štěpánek, I., Macháčková, K., : *Studium porušení systémů s tenkými vrstvami ze statické a vrypové indentace do hloubky systému*, sborník Metal 2008, Hradec nad Moravicí 2008

- [9] Štěpánek, I., Macháčková, K., Kesl, M., Fajt, J., Číp, J., Boháč, D., : *Porovnání vlastností a chování systémů s tenkými vrstvami z různých technologických procesů*, sborník Metal 2008, Hradec nad Moravicí 2008
- [10] Macháčková, K., Štěpánek, I., Jiránek O., : *Refinement of evaluation of mechanical properties and behaviour of systems thin film – substrate by cyclic scratch test*, sborník Matrib 2006, Chorvatsko – Vela Luka 2006
- [11] Štěpánek, I., Macháčková, K., Netušilová, D., Černý, F., Hořejš, S., : *Comparison of mechanical properties and behaviour selected systems of thin film – substrate from CVD, PACVD and PVD deposition measured by indentation tests*, sborník Matrib 2006, Chorvatsko – Vela Luka 2006
- [12] Macháčková K., Štěpánek I., Palubjaková J., *Correlation of evaluation of adhesive cohesive failures of systems thin film – substrate from surface and from cross section*, sborník Matrib 2007, Chorvatsko – Vela Luka 2007
- [13] Štěpánek I., Macháčková K., Palubjaková J., Černý F., Hořejš S., *Comparison of mechanical properties and behaviour of selected systems of thin film – substrate created by PACVD method*, sborník Matrib 07, Chorvatsko – Vela Luka 2007
- [14] Štěpánek I., Macháčková K., *Influence of hardness and structure composition of substrate on behaviour of systems thin film – substrate during indentation tests*, sborník Matrib 2007, Chorvatsko – Vela Luka 2007
- [15] Štěpánek I., Macháčková K., *Basic evaluation of mechanical properties and behaviour of thin films deposited on brittle basic material – glass by indentation tests*, sborník Matrib 2007, Chorvatsko – Vela Luka 2007
- [16] Macháčková, K., Palubjaková, J. : *Evaluation of specific failures of systems thin film – substrate from scratch indentation in detail*, sborník Matrib 2008, Chorvatsko – Vela Luka 2008

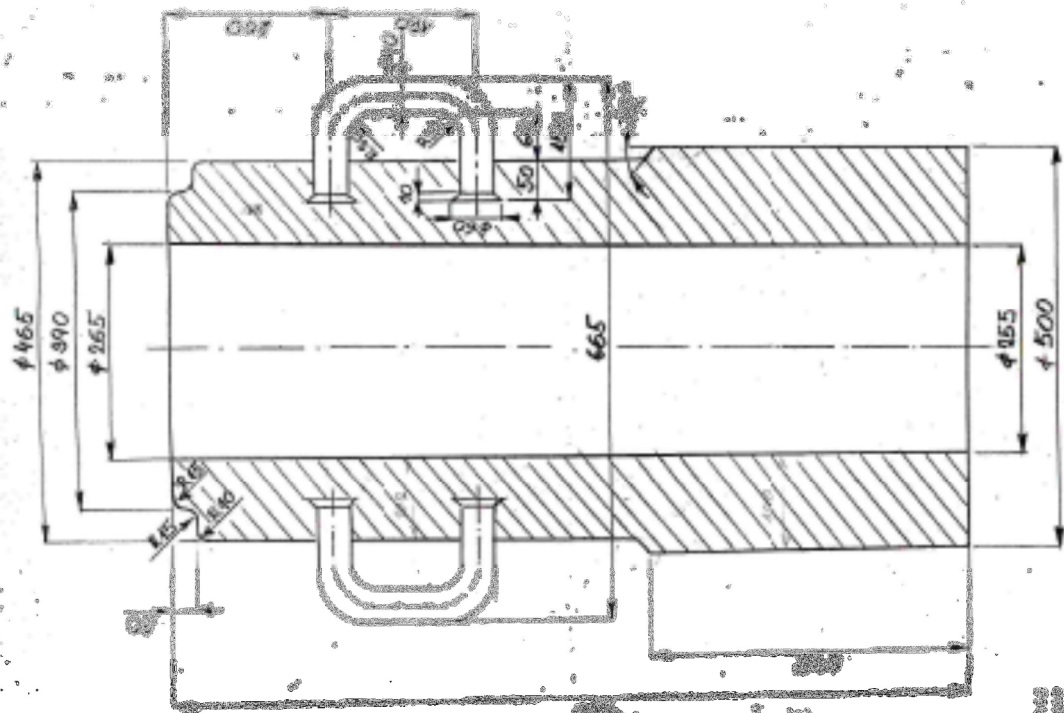
- [17] Štěpánek, I., Macháčková, K., Palubjaková, J. : *Comparison of mechanical properties and behaviour systems thin film – substrate prepared by different technology of deposition*, sborník Matrib 2008, Chorvatsko – Vela Luka 2008
- [18] I. Štěpánek, V. Mentl, K. Macháčková, *Hodnocení vlastností a chování sady vzorků indentačními zkouškami a hodnocení hloubkových profilů chemického složení z první poloviny 2007 při řešení projektu FT-TA/075*, srpen 2007
- [19] I. Štěpánek, V. Mentl, K. Macháčková, *Zpráva z hodnocení sady vzorků s čísly od 811 do 820 indentačními zkouškami měření a hloubkovou analýzou chemického složení při řešení projektu FT-TA/075 v první polovině 2007*, srpen 2007
- [20] I. Štěpánek, V. Mentl, K. Macháčková, P. Jiřík, J. Palubjaková, M. Novák, *Proměření sady vzorků s tenkými vrstvami TiN (vzorky TiN 1-4) a TiCN (vzorky TiCN 5ab) indentačními zkouškami a pomocí GDOES*, říjen 2007
- [21] I. Štěpánek, V. Mentl, K. Macháčková, P. Jiřík, J. Palubjaková, M. Novák, *Proměření mechanického chování sady vzorků s tenkými vrstvami TiN a TiCN (vzorky G6A až G10B indentačními zkouškami, profilů chemického složení a homogenity tenkých vrstev*, říjen 2007
- [22]. I. Štěpánek, V. Mentl, K. Macháčková, P. Jiřík, J. Palubjaková, M. Novák, *Doplnění zpráv měřením šířky vrypů a průměrů vtisků v závislosti na normálovém zatížení*, listopad 2007
- [23] Štěpánek, I., Macháčková, K., Jiřík, P., Palubjaková, J., Novák, M. : *Hodnocení mechanických vlastností a chování systémů tenká vrstva – substrát od různých dodavatelů zejména s vrstvami TiN a TiAlN - první část*, výzkumná zpráva červen 2008, ZČU v Plzni
- [24] Štěpánek, I., Macháčková, K., Jiřík, Novák, M., P., Palubjaková, J. : *Hodnocení vlivů deposičních parametrů na vlastnosti a chování systémů tenká vrstva – substrát připravených metodou nízkonapěťového obloukového odpařování - první část*, výzkumná zpráva srpen 2008, ZČU v Plzni

- [25] Štěpánek, I., Macháčková, K., Jiřík, P., Novák, M. : *Hodnocení mechanických vlastností a chování systémů tenká vrstva – substrát od různých dodavatelů zejména s vrstvami TiN a TiAlN - druhá část, výzkumná zpráva prosinec 2008, ZČU v Plzni*
- [26] Štěpánek, I., Macháčková, K., Jiřík, Novák, M. : *Hodnocení vlivů deposičních parametrů na vlastnosti a chování systémů tenká vrstva – substrát připravených metodou nízkonapěťového obloukového odpařování - druhá část, výzkumná zpráva prosinec 2008, ZČU v Plzni*
- [27] Tuček, J., Macháčková, K. & Kahovec, Č.: *Technologie výroby odlévaných drátů ze slitiny CuSn v závislosti na druhu a jakosti grafitových krystalizátorů a jejich životnosti*, METAL 2009, Czech Republic
- [26] Macháčková, K., Tuček J., Macháček J., Podaný P. & Němeček S.: *Optimalizace výroby slitiny FeNi v rámci programu EUREKA*, METAL 2010, Czech Republic
- [26] Sláma P., Macháčková K., Světlá M., Macháček J. & Podaný P.: *Struktura a vlastnosti lisovaných tyčí ze slitiny CuAl10Ni5Fe4*, METAL 2010, Czech Republic
- [27] Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby slitiny NIMONIC 80A, výzkumná zpráva projektu FR-TI1/491*, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [28] Macháčková Kateřina: *Tavení, lití a válcování tyčí ze slitiny FeNi47Cu5 a FeNi50, výzkumná zpráva projektu FR-TI1/473*, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [29] Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby FeNi50, FeNi42, FeNi47Cu5 – porovnání taveb v závislosti na tavící peci a síle stěny kokily*, Výzkumná zpráva EUREKA, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [30] Tuček Jaroslav, Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby slitiny PyMo4, Výzkumná zpráva EUREKA*, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009

- [31] Macháčková Kateřina: *Experimentální tavby slitiny NIMONIC 80A na otevřené peci SF1000*, Výzkumná zpráva FR-TI1/491, KOVOHUTĚ ROKYCANY, a.s., Rokycany 2009
- [32] Macháčková K., Tuček J., Režnar J. & Faltus J.: *Průmyslový výzkum a vývoj technologie výroby moderních Ni slitin pro náročné použití*, METAL 2011, Czech Republic
- [33] Macháčková K., Světlá M., Podaný P. & Sláma P.: *Industrial research and development Technology of production of bars made from Ni a Cu alloy*, METAL 2012, Czech Republic
- [34] Kahovec Č., Macháčková K., Režnar J. & Faltus J.: *Industrial development and research of modern Ni-alloys for sophisticated application (including production technology)*, METAL 2012, Czech Republic

Příloha č. 1

Výkres návrhu nových silnostěnných kokil používaných pro experimentální tavby



1113
 Nové číslo to vidieť
 zmeniť o nové číslo
 Doprava d'kazov, d. s. p.

Model	Mat. výber	Prárodný mat. - Ob. značka	Číslo dňa	Stavba číslo	Prárodný číslo	Prárodný rok
1113	415	Prárodný výber	379	1113	1113	1113
Kontrola	Prárodný	Prárodný výber	Prárodný výber	Prárodný výber	Prárodný výber	Prárodný výber
Prárodný	Prárodný	Prárodný	Prárodný	Prárodný	Prárodný	Prárodný
KOVŔHUTÉ ROKYČANY						
KOKILA φ 260						

Příloha č.2

Záznamy z taveb (vsázka, taviči, chemická analýza)

FeNi42 DID na peci KOPP (Eureka)

Dne: 8.7.2009

Tavba: č.t.1112 (číslo plánu 11001112)

Vsázka: 343.-kg Feni42 homo,Ni homo ,Fe behanit,NiMg15,Mn,Si

Tavič:p.Bejček, pomocník :p.Bozděch

Tavení,odplynění tuhnutím ,desoxidace NiMg15, Mn, Si,

Teplota lití : 1550 °C,

Kokila :lit.zesílená ø 265

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

apretace A) 1112/1 ø 231 x 870 mm váha: 298 kg

B) 1112/2 ø 231 x 900 mm váha: 307 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1112	41,8	0,32	0,14	0,14	0,004	0,006	0,01	Cr – 0,04

FeNi50 DID na peci KOPP (Eureka)

Dne: 8.7.2009

Tavba: č.t.1113 (číslo plánu 11001113)

Vsázka: 444.-kg Feni42 homo, Ni homo, Fe behanit, NiMg15, Mn, Si

Tavič: p.Schwarz, pomocník : p.Bůcha

Tavení, odplynění tuhnutím, desoxidace NiMg15, Mn, Si,

Teplota lití (1550 °C,)

Kokila : lit.zesílená ø 265

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

apretace A) 1113/1 ø 230 x 865 mm váha: 295 kg

B) 1113/2 ø 230 x 920 mm váha: 313 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1113	49,7	0,34	0,11	0,12	0,003	0,01	0,01	Cr – 0,01


Křiml Luboš
metalurg HS

FeNi47Cu na peci KOPP (Eureka)

Dne: 8.7.2009

Tavba: č.t.1114 (číslo plánu 11001114)

Vsázka: 1038.-kg Feni47Cu homo, Ni odpad, Cu katody, NiMg15, Mn, Si

Tavič: p.Bejček, pomocník : p.Bozděch

Tavení, odplynění tuhnutím, desoxidace NiMg15, Mn, Si,

Teplota liti (1550 °C,)

Kokila : lit.zesílená ø 265

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

apretace A) 1114/1 ø 231 x 855 mm váha: 295 kg

B) 1114/2 ø 231 x 890 mm váha: 309 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1114	47,8	0,31	0,17	4,9	0,009	0,01	0,01	Cr - 0,05


Kiml Luboš
metalurg HS

FeNi42 zkouška kokily 265 na peci SF1000

Dne: 4.8.2009

Tavba: č.t.1156 (číslo plánu 11001156)

Vsázka: 390.-kg Feni42 homo, FeNi42 odpad, FeNi36 odpad

Tavič:p.Červený , pomocník :p.Zajíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,desoxidace NiMg15, Mn, Si,Al

Typová lit (1540 °C)

Kokily lit ø 265

Stručka „Mladec“

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

Kovací zkouška: ano

apretace A)1156/1 ø 235 x 870 mm váha: 307 kg

B) 1156/2 ø234,5 x 950 mm váha: 333 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1156	41,9	0,38	0,14	0,10	,003	,006	0,01	Cr = 0,04 %

FeNi50 zkouška kokily 265 na peci SF1000

Dne: 5.8.2009

Tavba: č.t.1157 (číslo plánu 11001157)

Vsázka: 310.-kg Feni42 homo, FeNi50 třísky

Tavič:p.Červený , pomocník :p.Zajíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,desoxidace NiMg15, Mn, Si,Al

Teplota lití (1540 °C)

Kokila lit. ø 265

Struska „Kladno“

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

Kovací zkouška: ano

apretace A)1157/1 ø 234 x 890 mm váha: 312 kg

~~B) 1157/2 ø 235 x 925 mm váha: 330 kg~~

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1157	49,6	0,44	0,15	0,08	,005	0,01	0,01	Cr = 0,01 %


Kiml Luboš
metalurg HS

FeNi47Cu zkouška kokily 265 na peci SF1000

Dne: 4.8.2009

Tavba: č.t.1158 (číslo plánu 11001158)

Vsázka: 424.-kg Feni47Cu homo,FeNi47Cu odpad

Tavič:p.Červený , pomocník :p.Zajíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,desoxidace NiMg15, Mn, Si,Al

Teplota lití (1540 °C,)

Kokila lit. ø 265

Struska „Kladno“

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

Kovací zkouška: ano

apretace A)1158/1 ø 231 x 890 mm váha: 306 kg

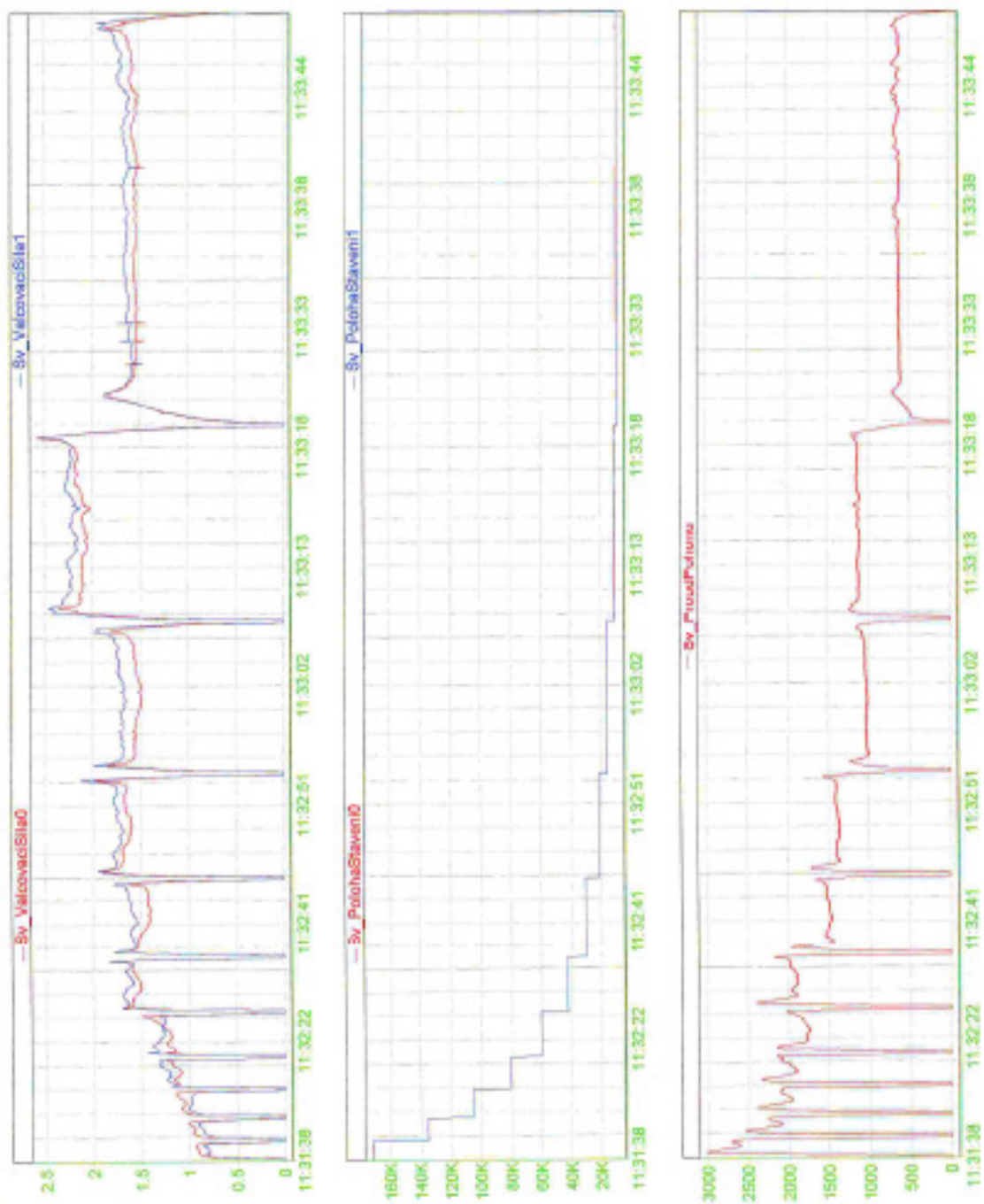
B) 1158/2 ø231 x 925 mm váha: 318 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1158	47,1	0,35	0,15	5,1	,006	0,01	0,01	Cr = 0,03 %


Kiml Luboš
metallurg/HS

Příloha č. 3

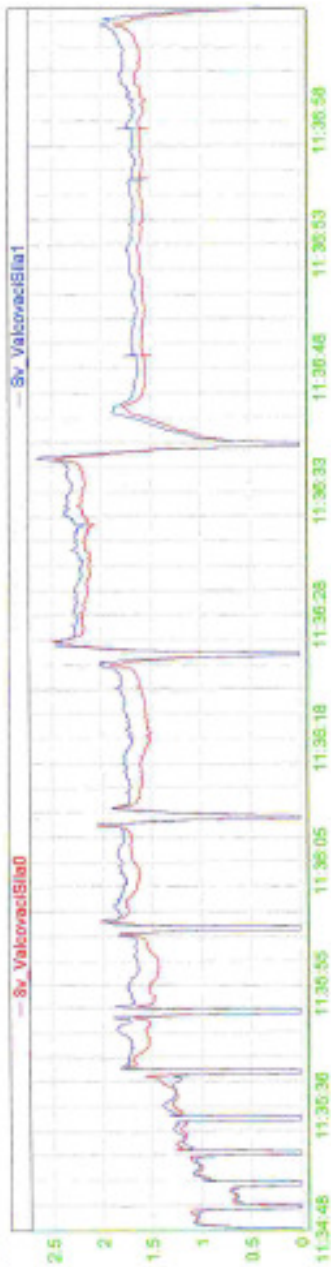
Diagramy silových poměrů v závislosti na proudovém napětí



FeNi42
 č.t. 1112/1
 KOPP
 čep

Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi42, č.t.1112/1, KOPP

20090811134.MD8



FeNi 42
čt. 1112/2
KOPP
čep

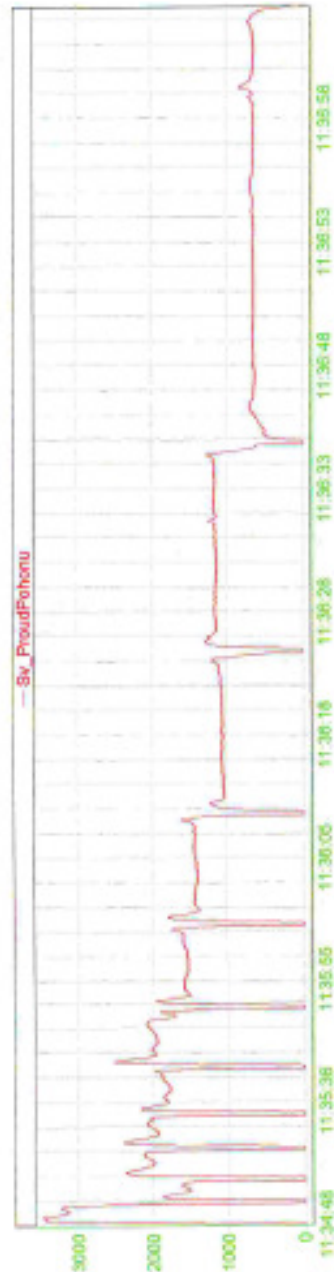
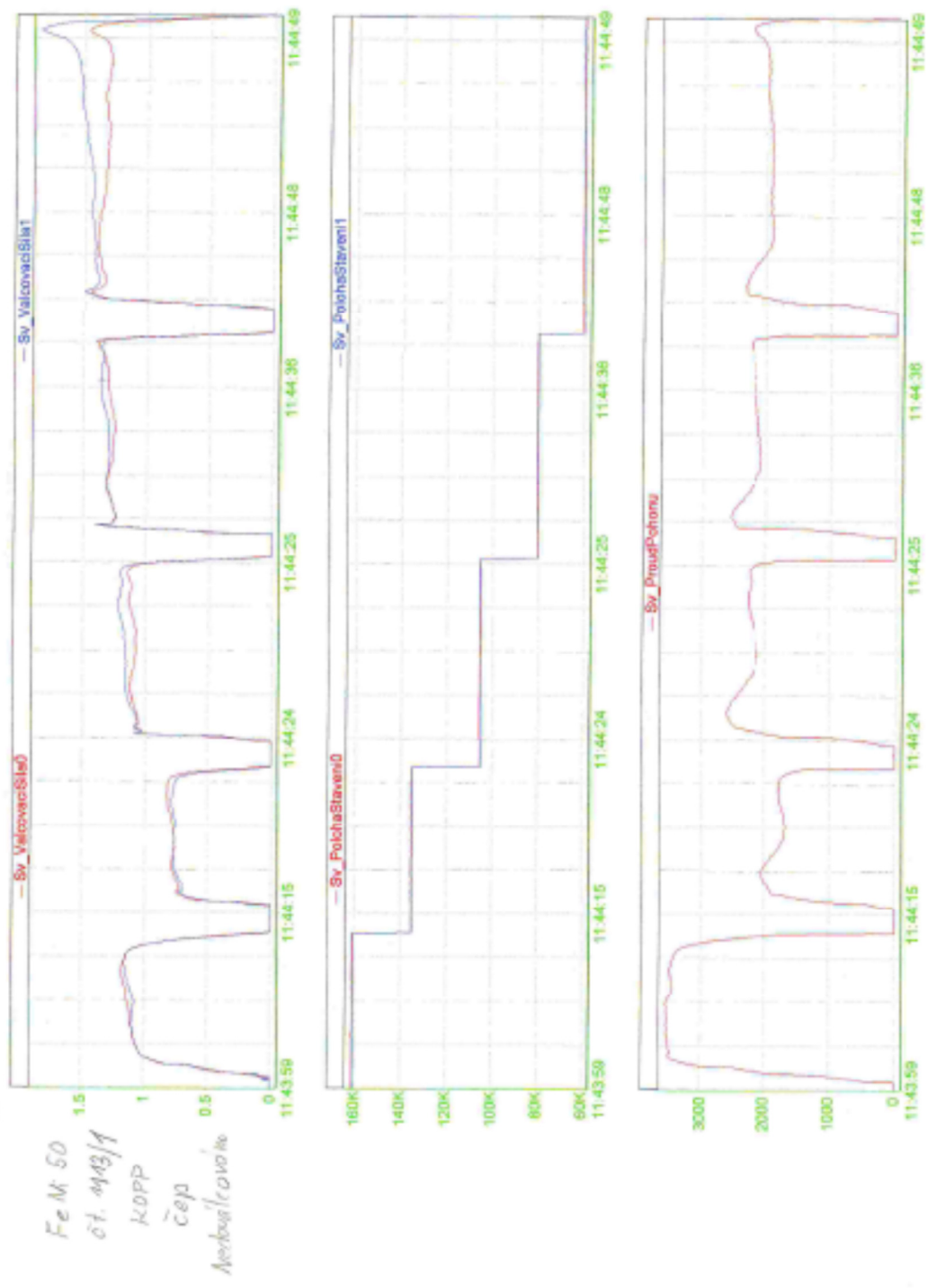


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi42, č.t.1112/2, KOPP



K

Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi50, č.t.1113/1, KOPP

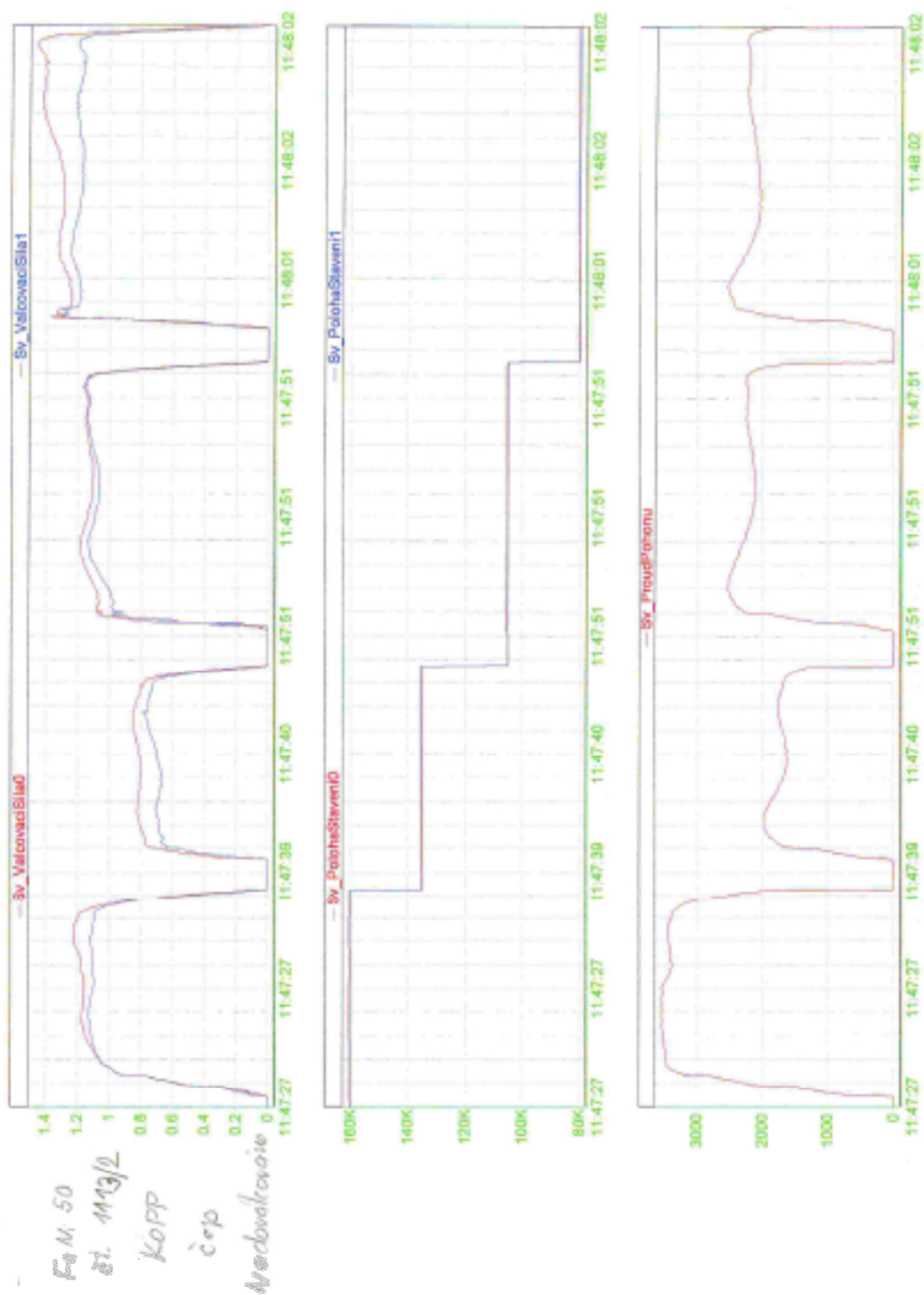


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi50, č.t.1113/2, KOPP

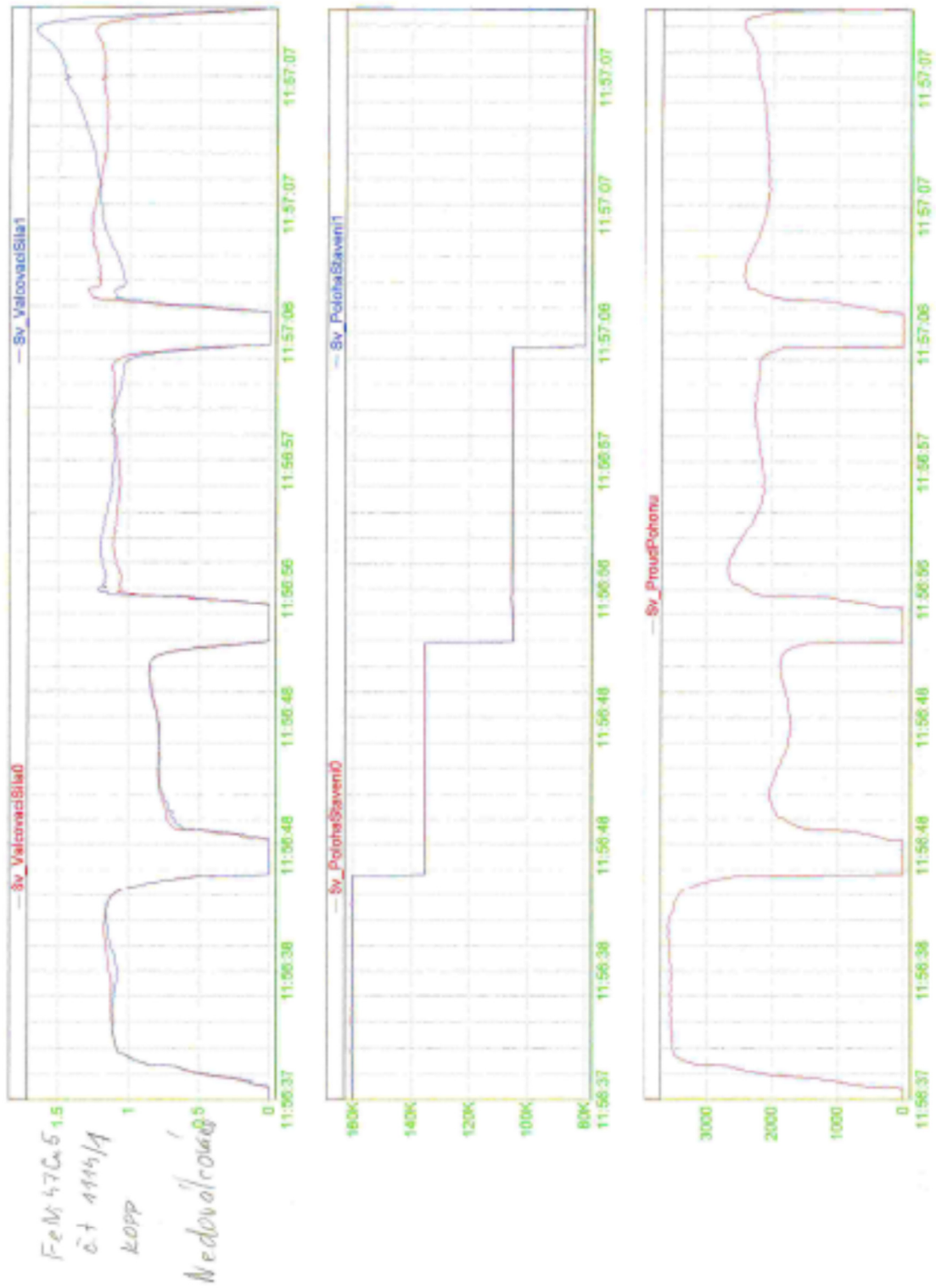


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: $FeNi_{47}Cu_{51.5}$, č.t.1114/1, KOPP



Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi47Cu5, čt.1114/2, KOPP

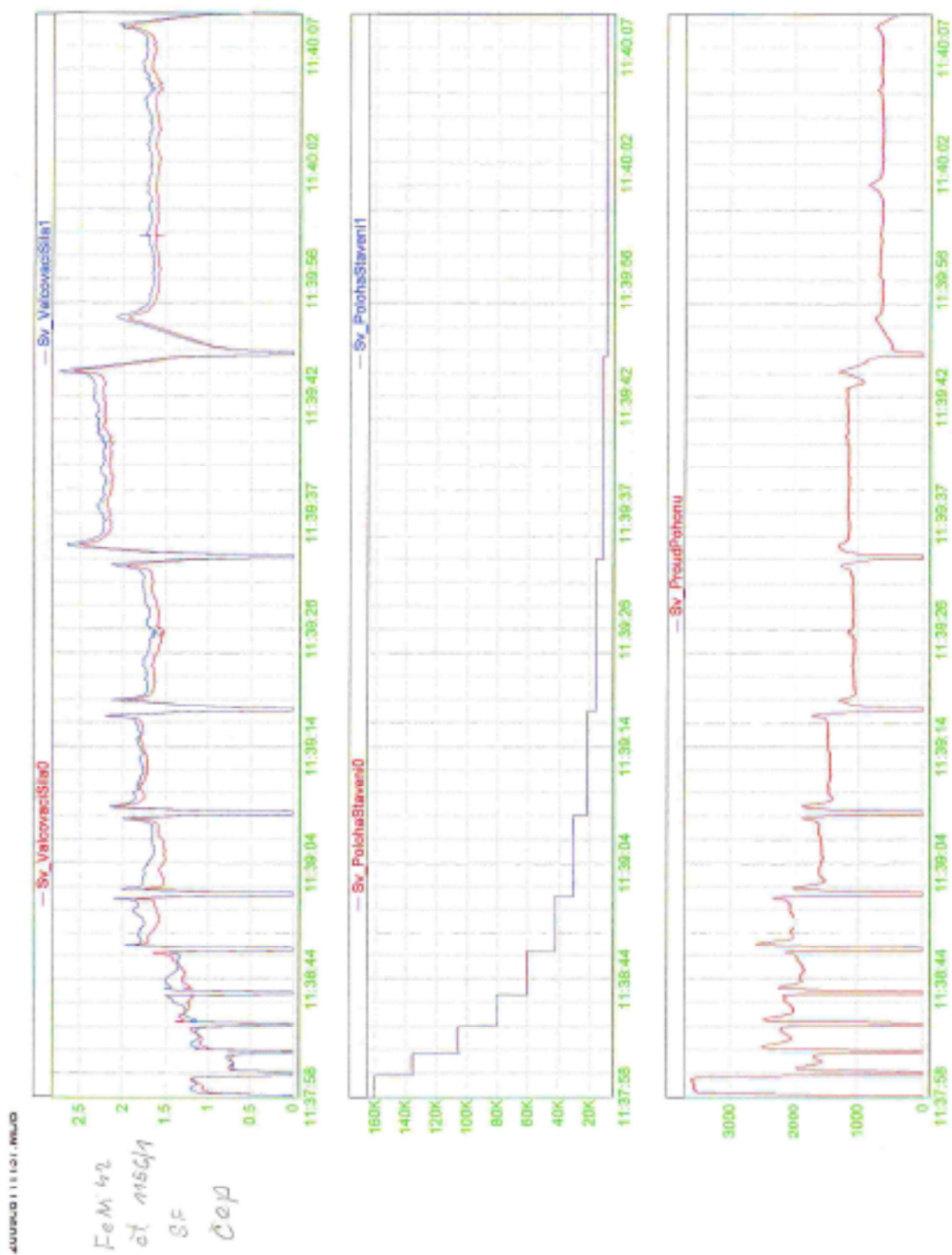


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi42, č.t.1156/1, SF 1000

K

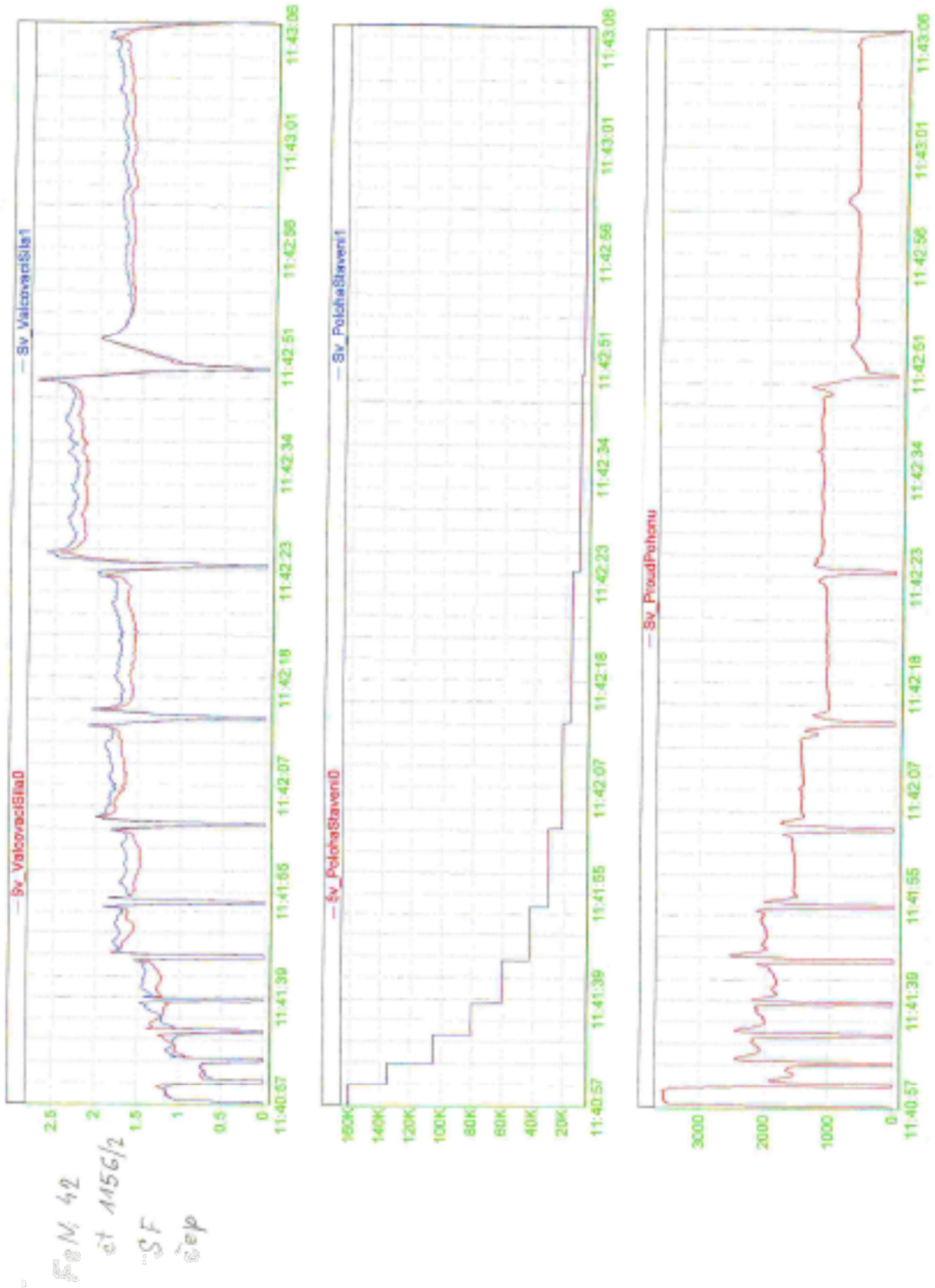


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi42, č.t.1156/2, SF 1000

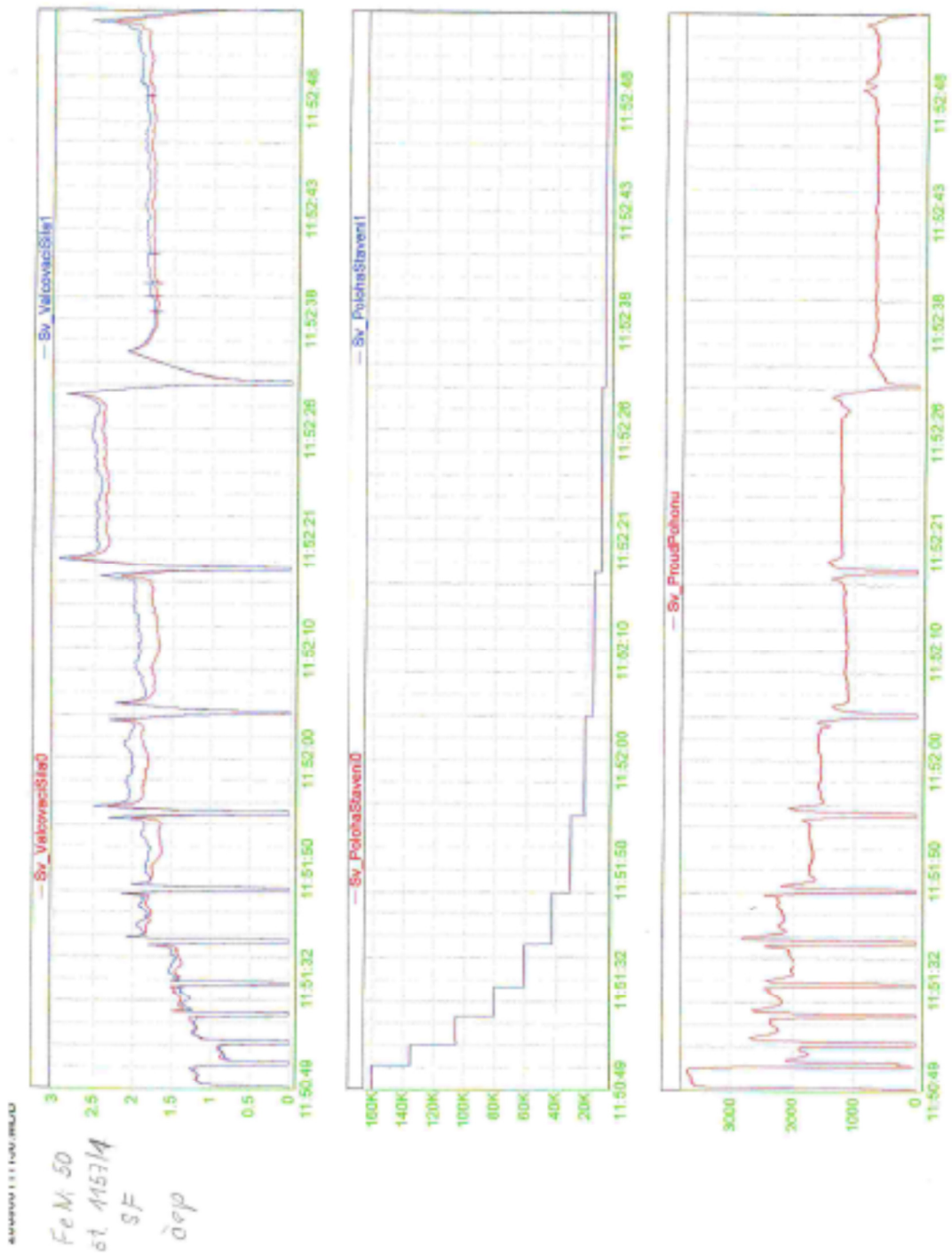


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi50, č.t.1157/1, SF 1000

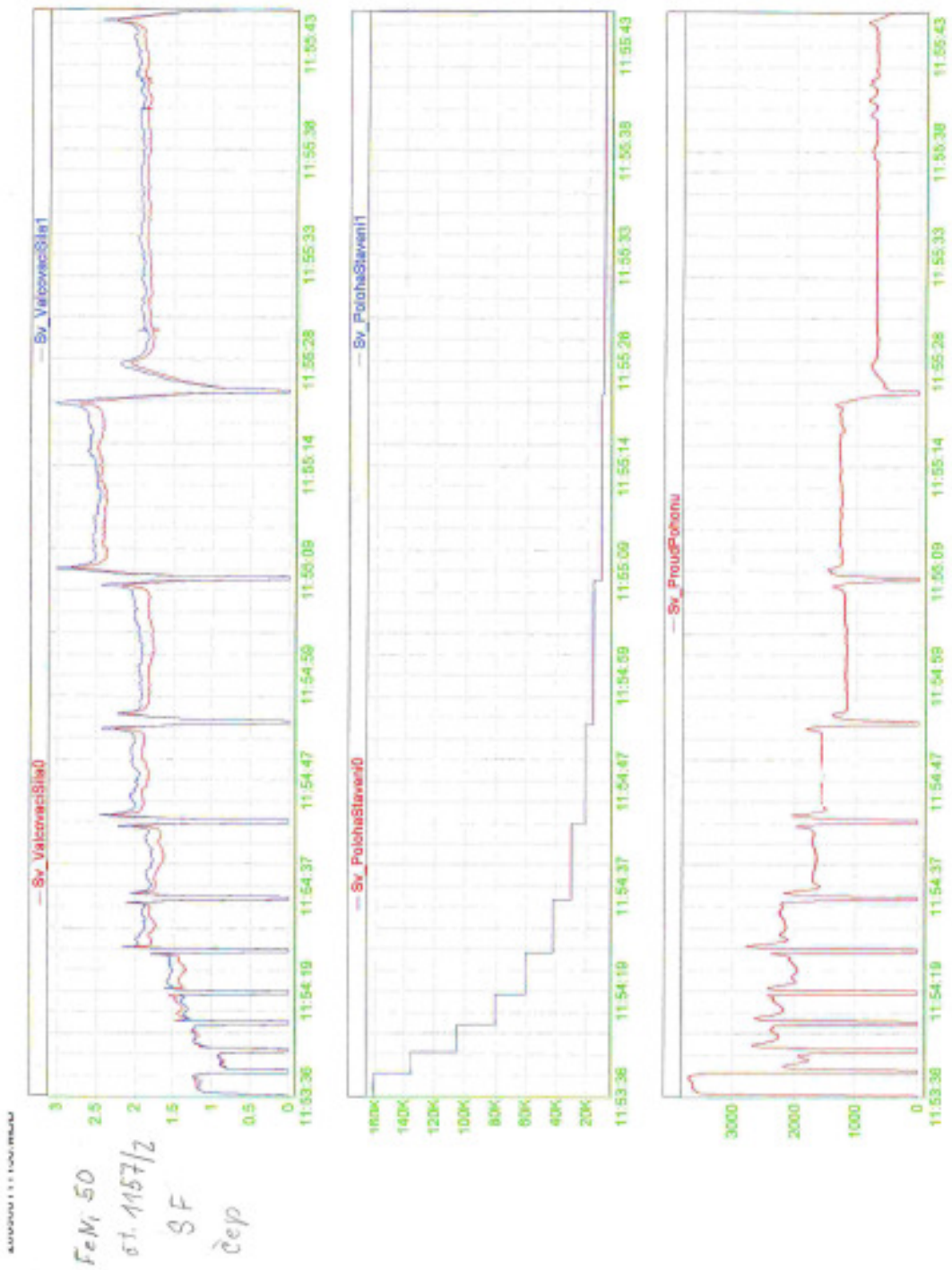
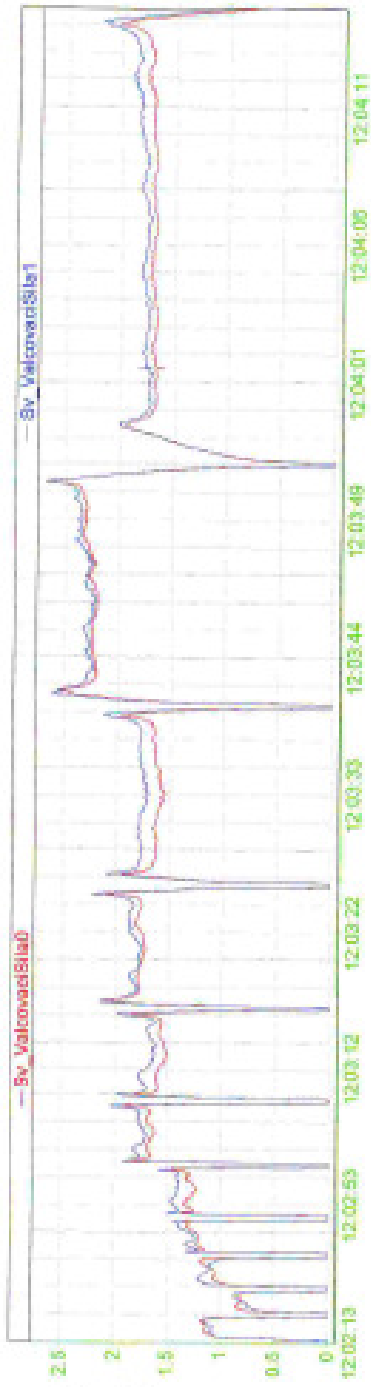
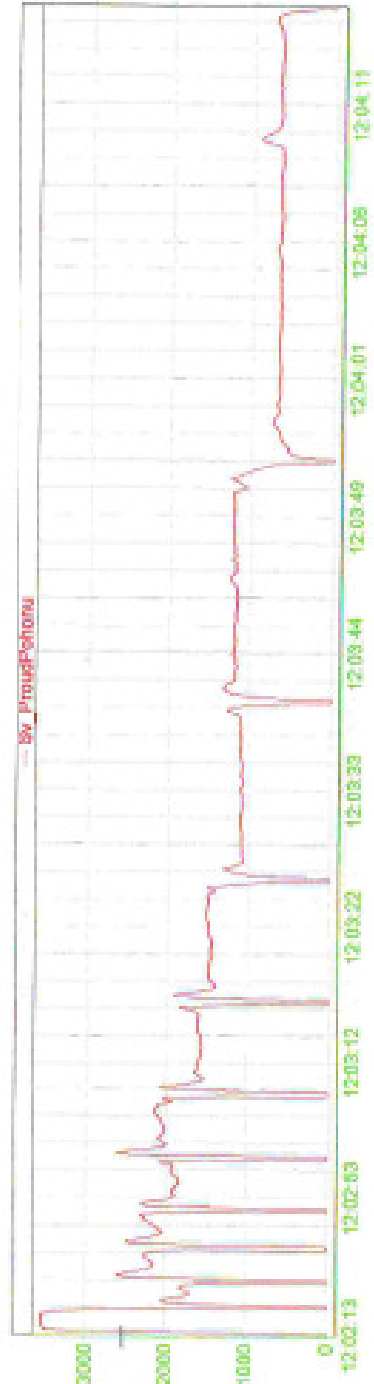
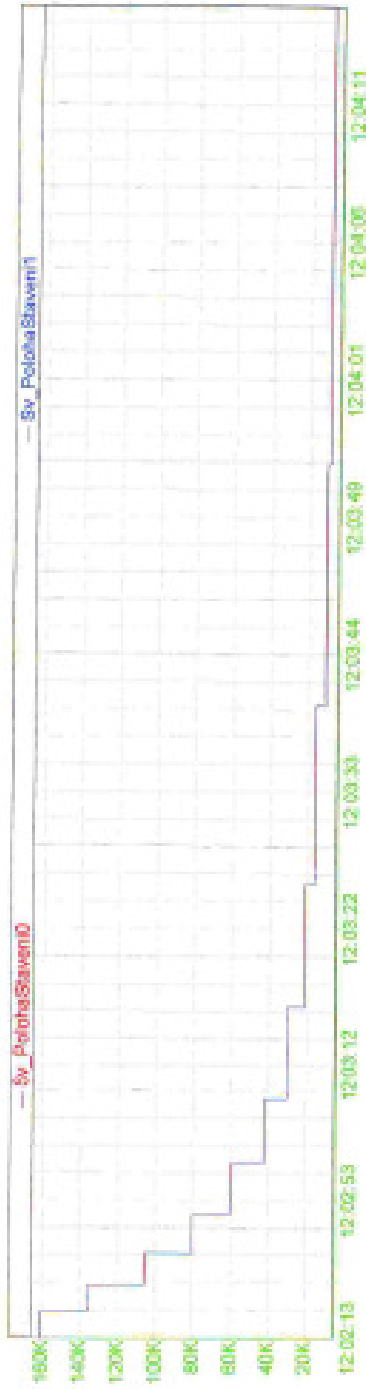


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi50, č.t.1157/2, SF 1000



FeNi47Cu5
čt. 1158/1
SF
čep



1158/1

Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi47Cu5, č.t.1158/1, SF 1000

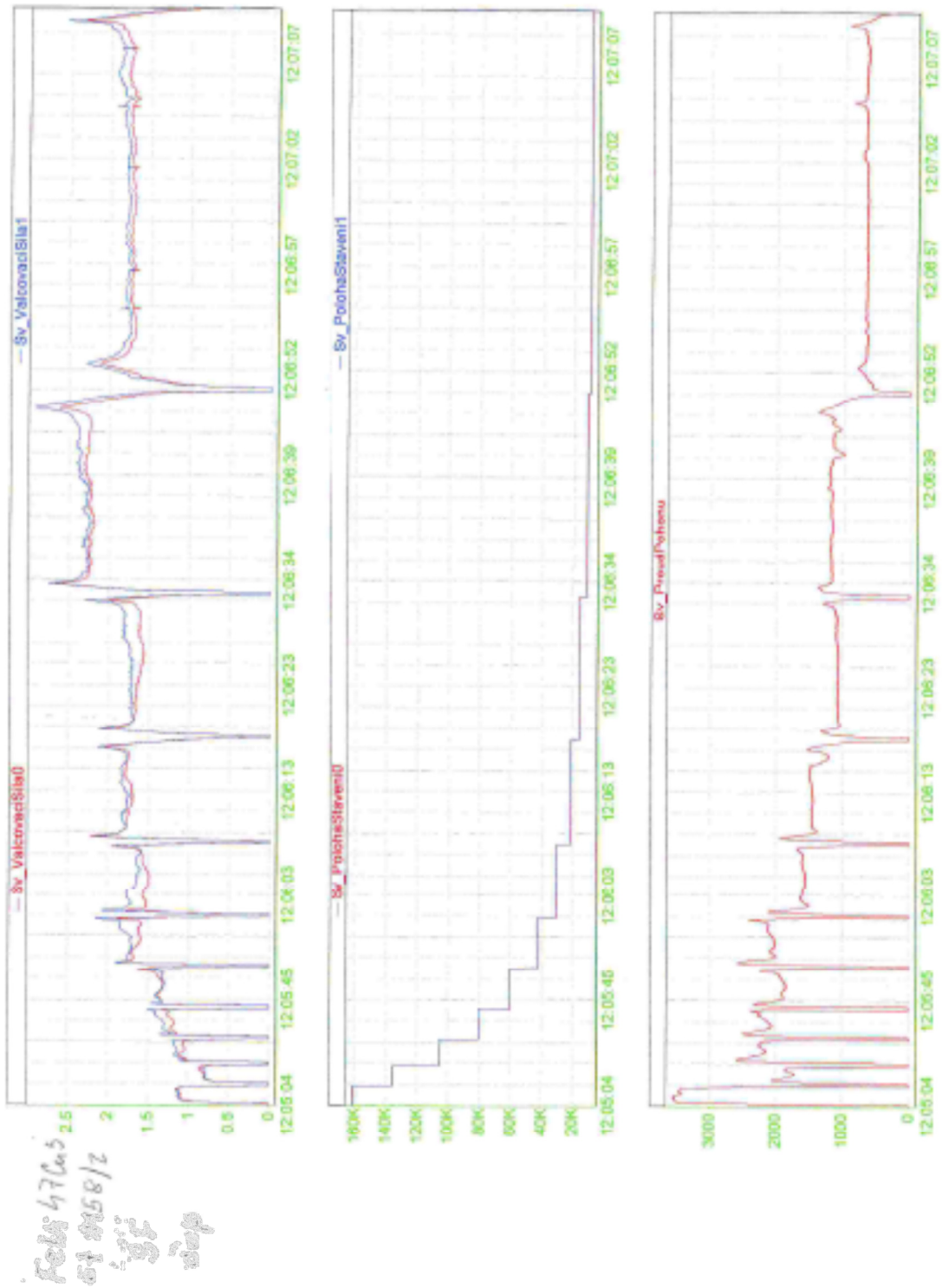


Diagram silových poměrů v závislosti na proudovém napětí: FeNi47Cu5, č.1.1158/2, SF 1000

Příloha č. 4

Tabulka statistického hodnocení litých polotovarů při válcování za tepla

FeNi47Cu5																	
Tavba	Číslo čepu	Chemické složení [%]								H ₂ ppm	Pořadí válcování čepu	Výsledky válcování				Kovací zkouška	Poznámka
		Ni	Mn	Si	Cr	Cu	S	P	C			Hodnocení		Poznámka			
Únor 2008																	
3470	1	50,7	0,35	0,13	0,05	0,14	0,003	0,01	0,01		2	A					
	2										4	A					
3471	1	51,0	0,40	0,17	0,04	0,07	0,005	0,01	0,01		3	A					
	2										1		C			Vypadl z pece cca. 8min mimo pec	
Duben 2008																	
897	1										6			C			
	2	47,27	0,23	0,10	----	4,64	0,003	0,001	0,02		5				N	Po třetím úběru ven	
898	1	47,69	0,15	0,05	----	5,02	0,003	0,002	0,02		8			C			
	2										7		B				
899	1	47,62	0,21	0,12	----	5,02		0,004			12		B				
	2										11	A					
900	1	47,47	0,21	0,10	----	5,19	0,008	0,001	0,02		10				N	Po čtvrtém úběru ven	
	2										9		B				
901	1	47,22	0,17	0,09	----	4,74	0,008	0,003	0,03		4	A					
	2										3	A					
902	1	47,60	0,22	0,10	----	5,03	0,06	0,002	0,02		1		B				
	2										2	A					
Červen 2008																	
904	1	47,41	0,14	0,06	----	5,01	0,012	0,002	0,01		7		B			2x v peci	
	2										6			C		Po prvním úběru stál ve vodítku	
905	1	47,99	0,18	0,07	----	4,98	0,013	0,03	0,01		3		B			2x v peci	
	2										----						
906	1	47,81	0,21	0,10	----	4,94	0,012	0,001	0,01		2		B			2x v peci	
	2										----						

Tavba	Číslo čepu	Chemické složení [%]								H ₂ ppm	Pořadí válcování čepu	Výsledek válcování				Kovací zkouška	Poznámka
		Ni	Mn	Si	Cr	Cu	S	P	C			Hodnocení		Poznámka			
907	1	47,64	0,11	0,06	----	4,89	0,013	0,004	0,01		4			N	2x v peci		Po třetím úběru ven
	2										5			N	2x v peci		Po třetím úběru ven
909	1	47,28	0,17	0,06	----	4,80	0,007	0,003	0,02		----						
	2										1		C	2x v peci			
910	1	47,95	0,23	0,06	----	4,91	0,013	0,002	0,03		10			N			Po šestém úběru ven
	2										9			N			Po čtvrtém úběru ven
911	1	47,46	0,24	0,08	----	4,80	0,015	0,001	0,04		8		B				Po sedmém úběru trhliny uprostřed
	2										----						
912	1	47,43	0,16	0,09	----	4,73	0,004	0,002	0,01		10		B				Po sedmém úběru zapraskal
	2										----						
913	1	47,99	0,17	0,06	----	4,86	0,007	0,002	0,02		3			N			Po čtvrtém úběru ven –porucha jeřábu
	2										4		B				Vypadl z pece
914	1	47,94	0,15	0,06	----	4,85	0,008	0,002	0,01		6	A					
	2										----						
915	1	47,89	0,10	0,06	----	4,86	0,009	0,002	0,02		12			N			Po šestém úběru ven
	2										5	A					
916	1	47,32	0,20	0,07	----	4,83	0,010	0,002	0,02		8	A					
	2										13	A					
917	1	47,12	0,23	0,07	----	4,74	0,01	0,008	0,02		7	A					
	2										9	A					
918	1	47,43	0,17	0,06	----	4,82	0,006	0,01	0,01		2	A					
	2										1			N			Vypadl z pece, po třetím úběru ven
919	1	47,90	0,26	0,09	----	4,78	0,004	0,01	0,02		11		C				Vypadl z pece
	2										----						
920	1	47,46	0,23	0,05	0,02	4,69	0,004	0,01	0,03	1,44 1,56	1	A					
	2										2	A					

Tavba	Číslo čepu	Chemické složení [%]								H ₂ ppm	Pořadí válcování čepu	Výsledek válcování				Kovací zkouška	Poznámka
		Ni	Mn	Si	Cr	Cu	S	P	C			Hodnocení	Poznámka				
Červenec 2008																	
920	1	47,46	0,23	0,05	0,02	4,69	0,004	0,01	0,03	1,44 1,56	1	A					
922	1	47,43	0,15	0,06	----	4,79	0,006	0,01	0,01		8	A					
	2										6	A					
923	1	46,99	0,19	0,07	----	4,86	0,008	0,01	0,02		7	A					
	2										5	A					
Říjen 2008																	
924	1	46,64	0,34	0,18	0,06	4,64	0,002	0,001	0,02	2,34	7			C		Po čtvrtém úběru zapraskal	
	2										11	A					
925	1	46,65	0,29	0,14	0,06	4,62	0,007	0,001	0,02	3,38	8			C			
	2										3			N		Po čtvrtém úběru ven	
926	1	46,26	0,27	0,15	0,04	4,7	0,015	0,001	0,01	3,11	5			N		Po druhém úběru ven	
	2										1			N		Po třetím úběru ven	
927	1	46,56	0,33	0,17	0,06	4,63	0,014	0,001	0,03	4,82	9	A					
	2										10	A					
928	1	47,94	0,26	0,13	0,02	4,80	0,008	0,001	0,01		4		B				
	2										12		B			Po druhém úběru zapraskal	
929	1	47,56	0,26	0,11	0,02	4,73	0,004	0,001	0,01		6		B				
	2										2			C		Po pátém úběru zapraskal	
930	1	47,60	0,38	0,11	0,01	4,72	0,003	0,01	0,01		2	A					
	2										1		B			Měření teploty FORTECH	
931	1	46,77	0,27	0,15	0,03	4,73	0,004	0,01	0,01		3	A					
	2										4			N		Poslední v peci, 1,5min zůstal stál na dopravníku -porucha	
932	1	46,90	0,30	0,13	0,02	4,79	0,006	0,01	0,02		1	A					
	2										2	A					
933	1	47,18	0,26	0,11	0,03	4,86	0,004	0,01	0,01		7		B			HiP – Matex - destička	
	2										8		B			Odebraná nová struska	
934	1	47,00	0,21	0,15	0,02	4,81	0,004	0,01	0,01		5			N		Nová struska	
	2										6			N		Po třech úběrech ven 1 i 2	

Tavba	Číslo čepu	Chemické složení [%]								H ₂ ppm	Pořadí válcování čepu	Výsledek válcování				Kovací zkouška	Poznámka
		Ni	Mn	Si	Cr	Cu	S	P	C			Hodnocení		Poznámka			
935	1	46,97	0,37	0,15	0,06	4,80	0,01	0,01	0,01	2,8	3	A					
	2										4		B				
936	1	47,22	0,35	0,16	0,04	4,86	0,009	0,01	0,02	3,8	1	A					
	2										2	A					
937	1	46,82	0,30	0,13	0,03	4,85	----	0,01	----		9	A			Našíření 380mm	2xkovačka	HiP desky,
	2										10	A			Našíření 380mm	2xkovačka	Tvar desky – 310x150x1010
Listopad 2008																	
938	1	46,5	0,30	0,13	0,03	5,4	0,003	0,01	0,02		3				N		Po třetím úběru ven
	2										7				N		Po třetím úběru ven
939	1	47,1	0,31	0,12	0,02	4,9	0,010	0,01	0,02		4				N		Po třetím úběru ven
	2										6			C			Po třetím úběru zapraskal
940	1	47,1	0,36	0,20	0,03	4,7	0,012	0,01	0,01		1		B/C				Deska – levá strana zapraskaná (následek pomalého vyndávání z pece)
	2										2		B/C				Deska – levá strana zapraskaná (následek pomalého vyndávání z pece)
941	1	46,9	0,26	0,10	0,03	4,8	0,005	0,01	0,02		8			C			Po třetím úběru zapraskal
	2										5			C			Špatná třetí úber (moc velký) – porucha stroje
942	1	47,3	0,28	0,14	0,02	4,9	0,002	0,01	0,01		10				N		Vypadl z pece po druhém úběru ven
	2										9			C			Po třetím úběru zapraskal

Poznámka: A- bez zapraskání
B – zapraskáno do 1,5 cm
C – zapraskáno do 3 cm
N - nedoválcováno

Příloha č.5

Inovované tavební listy pro záznam průběhu tavní a lití

TAVEBNÍ LIST -pec SF 250

TAVEBNÍ LIST -pec SF 250						
Datum		Číslo tavby		Tavbová analýza		
Ved. směny		Slitina		Ni		
Směna od:		Jakost (norma)		Fe		
Směna do:		Počátek tavení		Co		
Tavič		Struska č.1		Mn		
Pomocník taviče		Struska č.2		Cr		
Vyzdívka		Vakuum		Si		
Průměr licího otvoru (mm)		Doba výdrže na vakuu (min)		Cu		
Teplota předehřáté kokily (°C)		Teplota lití (°C)		Al		
Dusík při lití ANO/NE		Konec tavení		Mg		
Ztrátový čas		od	do	Dolegováno		
				Materiál	kg	
Čekání na analýzu 1:						Mo
Čekání na analýzu 2:						W
Čekání na analýzu 3:						Nb
Čekání na analýzu 4:						V
						Sn
						Zn
						Pb
Kovací zkouška		ANO	NE	Desoxidace		
				Materiál	kg	C
Kovací zkouška 1:						S
Kovací zkouška 2:						Pb
Kovací zkouška 3:						Zr
Poruchy a opravy		od	do	Kokily	Licí čas	Odlitek
				(rozměr)	s	kg
mechanismu						
elektriky						
jeřábu						
vakua						
Poznámky k tavbě a lití:						

TAVEBNÍ LIST – pec KOPP

Datum		Číslo tavby			
Směna		Slitina/n orma			
Tavič		Kokila(r ozměr)			
Pomocník taviče		Teplota lití (°C)			
Průměr lichho otvoru		Vakuum (Pa)/ doba na vakuu(m in)			
Teplota předehřáté kokily (°C)		Váha odlitku (kg)			
Začátek tavení		Konec tavení			
Počet analýz	Čekání na analýzu (min)	Dolegováno		Desoxidace	
		Materiál	kg		čas
1.				1	
2.				2	
3.				3	
4.				4	
5.				5	
6.				6	
7.				7	
Poruchy a opravy:					
<p>Poznámky k tavně a lití:</p>					

Příloha č.6

Záznamy z taveb (vsázka, taviči, chemická analýza)

Experimentální tavby – keramické filtry

1720 FeNi42 dle GOST 10994

Dne: 22.3.2010
čas : noční směna
Filtr : VUKOPOR \varnothing 200 x 25 HT 10
Vsázka: FeNi42 třísky fréza NV
Tavič: p. Červený,
Pomocník : p. Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití: (1540 °C,)
Kokila lit.: \varnothing 170 odlitek 230 kg
Kovací zk. ano
Analýza: 4 x !!!!!

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile. Tavenina přecezena bez problémů ,malý rabas před sítkem ,super povrch

apretace A) 1720 \varnothing 151 x 985 mm **váha:** 145.- kg

	41,5-42,5	0,35	0,3	0,1	0,015	0,015	0,03	0,1	4,5 – 5,2	
č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Cr %	Dilatace	Poznámka
1720	41,9	0,14	0,14	0,06	,002	,006	0,01	0,03	5,0	Co = 0,18

1721 FeNi42 dle GOST 10994 (bez filtru)

Dne: 22.3.2010
čas : noční směna
Vsázka: FeNi42 třísky fréza NV
Tavič: p.Červený
pomocník: p:Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití: (1540 °C)
Kokila lit. ø 170 odlitek 228 kg
Kovací zk: ano
Analýza: 3 x !!!

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile.

apretace A) 1721 ø 150 x 975 mm **váha:** 142.- kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Cr %	Dilatace	Poznámka
1721	42,1	0,09	0,08	0,14	,005	,006	0,01	0,03	5,1	Co = 0,23

1726 FeNi50 dle ČSN 423484

Dne: 24.3.2010
čas : noční směna
Filtr : VUKOPOR \varnothing 200 x 25 HT 10
Vsázka: FeNi50 třísky
Tavič: p.Červený
pomocník : p.Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití. (1540 °C)
Kokila lit: \varnothing 170 odlitek 232.-kg
Kovací zk: ano
Analýza: 1 x

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile. Tavenina přecezena bez problémů ,malý rabas před sítkem

apretace A) 1726 \varnothing 153 x 930 mm **váha:** 139.- kg

48,0-51,5 0,1-0,6

4,5 – 5,2

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Cr %	Dilatace	Poznámka
1726	50,2	0,54	0,34	0,10	,006	0,01	0,07			

1727 FeNi50 dle ČSN 423484(bez filtru)

Dne: 24.3.2010
čas : noční směna
Vsázka: FeNi50třísky
Tavič: p. Červený
Pomocník: p. Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití: (1540 °C)
Kokila lit. ø 170 odlitek 232.-kg
Kovací zk.: ano
Analýza: 1 x

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile

apretace A) 1727 ø 151 x 955 mm **váha:** 141.- kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Cr %	Dilatace	Poznámka
1727	49,9	0,39	0,18	0,08	,002	0,01	0,01			

1716 FeNi47Cu5 dle GOST 10994

Dne: 25.3.2010

čas :

Filtr : VUKOPOR \varnothing 200 x 25 HT 10

Vsázka: FeNi47Cu třísky fréza NV

Tavič: p. Červený,

pomocník : p. Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití: (1540 °C,)

Kokila lit. \varnothing 170 odlitek 230.-kg

Kovací zk: ano

Analýza: 2 x

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile. Tavenina přes sítko tekla z těžka ,část od začátku přepadem (jako u sl.Kovar)

apretace A) 1716 \varnothing 150 x 960 mm **váha:** 141.- kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1716	47,2	0,25	0,14	4,8	,005	0,01	0,01	

1719 FeNi47Cu5 dle GOST 10994(bez filtru)

Dne: 25.3.2010

čas :

Vsázka: FeNi47Cu třísky fréza NV

Tavič: p.Červený

pomocník: p.Karlíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,vakuování desoxidace (Mašek) Mn, Al,plněný profil (Si,Ca,Al)

Teplota lití: (1540 °C)

Kokila lit. ø 170 odlitek 232.-kg

Kovací zk.: ano

Analýza: 2 x

Průběh tavby: bez problému hladina klidná v kokile

apretace A) 1719 ø 151 x 945 mm **váha:** 140.- kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
1719	47,5	0,36	0,20	4,8	,003	0,01	0,01	

Kiml L.

metalurg HS

Příloha č. 7

Záznamy z taveb (vsázka, taviči, chemická analýza)

Lití do deskových kokily

Lití FeNi47Cu5 pro DID na SF1000 do deskové kokily 325

Dne: 30.10.2008

Tavba: č.t. 937

Vsázka: FeNi47Cu5 odpad a třísky (apretura) Mn, Si, NiMg15

Tavič: p. Červený,

Pomocník: p. Zajíček

Tavení, odplynění tuhnutím, desoxidace NiMg15, Mn, Si

Teplota lití (1530 - 1525 °C)

Kokila 2ks litinová deska 325 (318 mm)

Hladina kryta struskou (Rusko)

Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

Kovací zkouška – ano

apretace A) 937/1 318 x 142 x 935 mm váha: 375 kg

B) 937/2 318 x 144 x 975 mm váha: 354 kg

č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
937	47,0	0,19	0,09	4,9	,004	0,01	0,01	Cr = 0,03 %


Kim Luboš
metalurg HS

Lití FeNi47Cu5 pro DID na SF1000 do deskové kokily 325

Dne:18.11.2008

Tavba: č.t.940

Vsázka: FeNi47Cu odpad a třísky (apretura) Mn,Si,NiMg15

Tavič:p.Červený,

Pomocník: p.Zajíček

Tavení,odplynění tuhnutím ,desoxidace NiMg15, Mn, Si

Teplota lití (1530 - 1525 °C,)

Kokila 2ks litinová deska 325 (318 mm)

Hladina kryta struskou (Rusko)

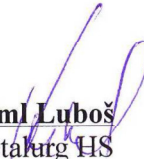
Průběh tavby bez problému hladina klidná v kokile.

Kovací zkouška – ano

apretace A) 940/1 318 x 142 x 980 mm váha: 353 kg

B) 940/2 318 x 130 x 975 mm váha: 320 kg

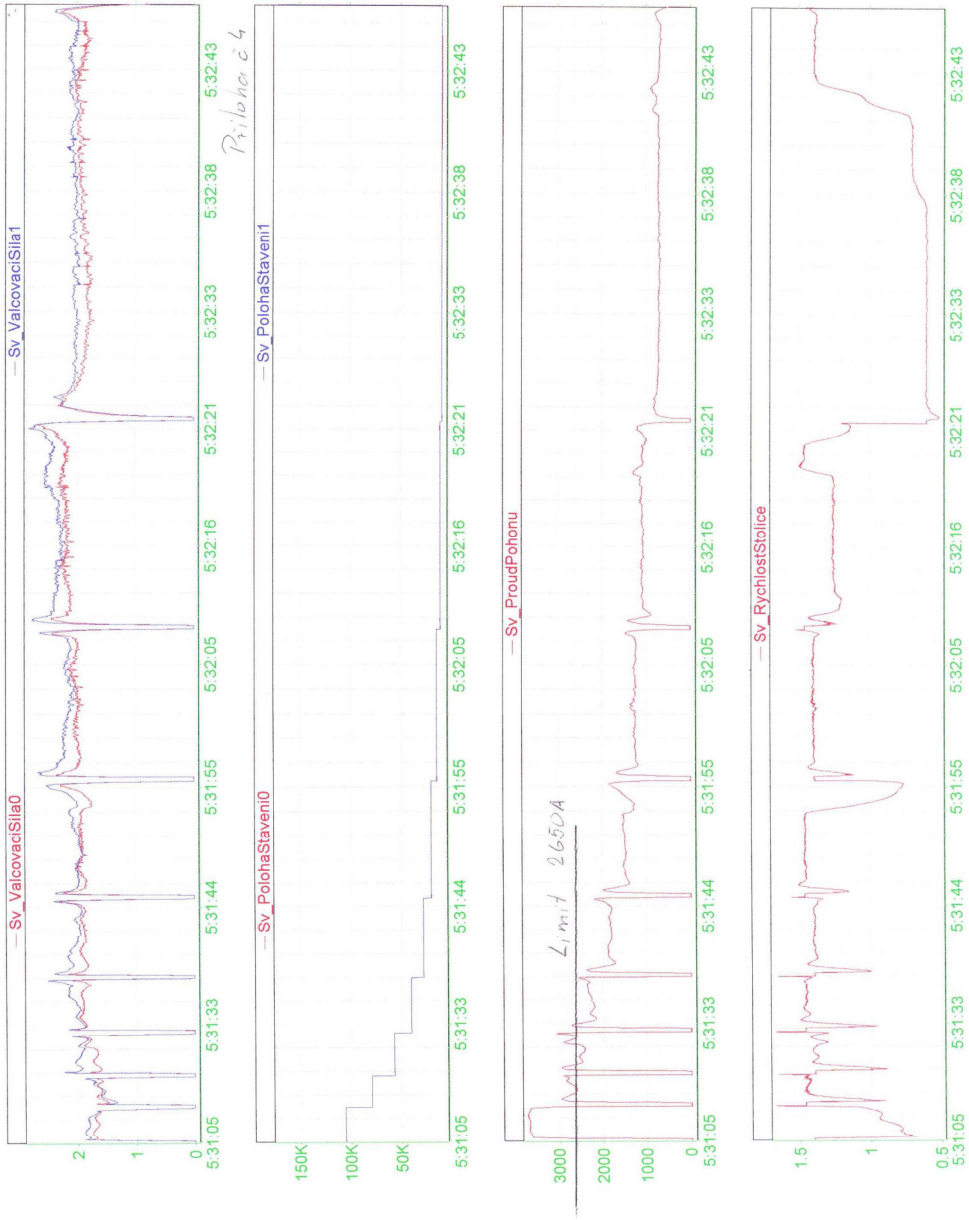
č.t.	Ni %	Mn %	Si %	Cu %	S %	P %	C %	Poznámka
940	47,0	0,36	0,20	4,7	,012	0,01	0,01	Cr = 0,03 %


Kiml Luboš
metálurg HS

Příloha č. 8

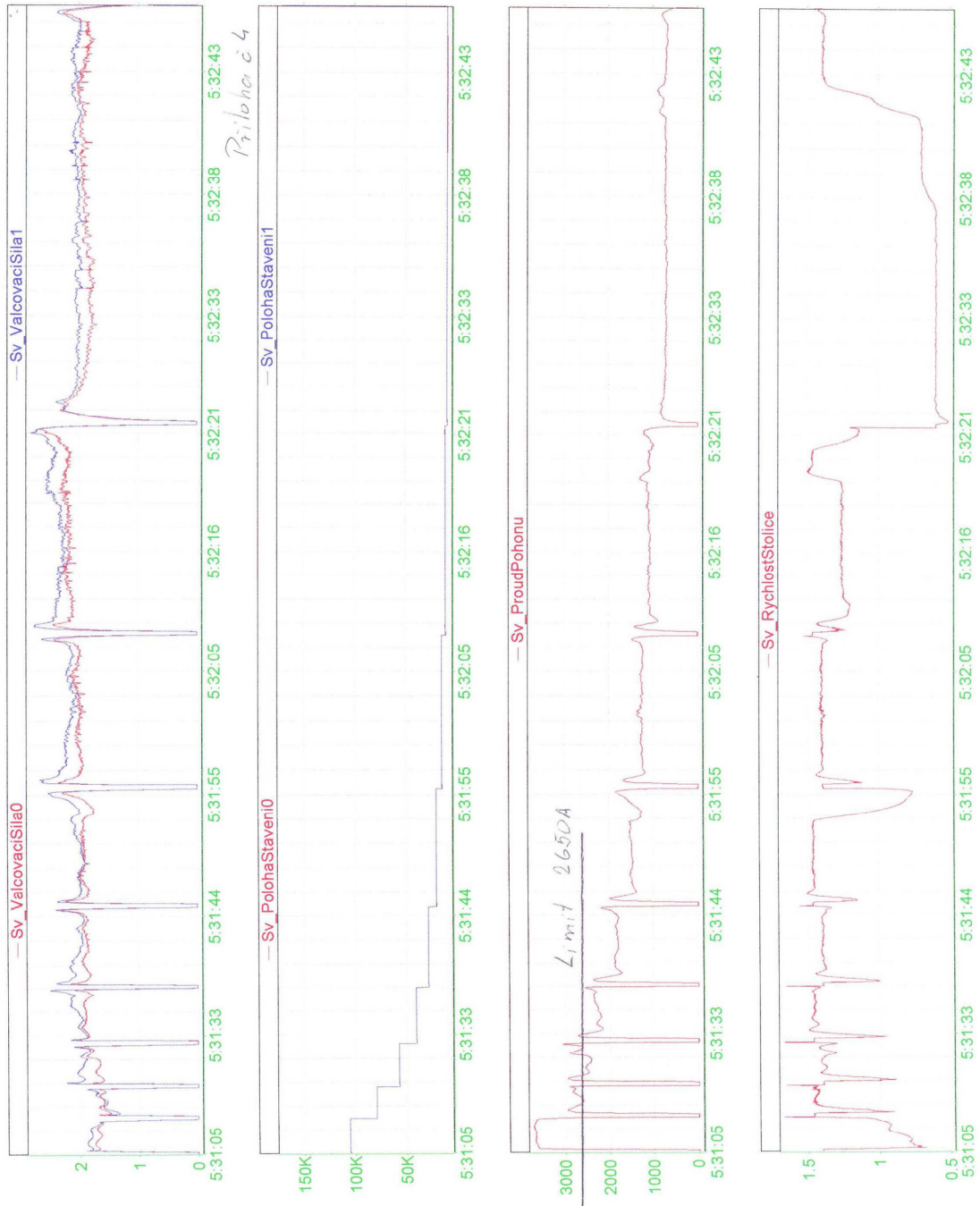
*Grafický záznam silových poměru a proudového zatížení
při válcování plochých ingotů*

200811050531.MDB



Grafický záznam silových poměru a proudového zatížení

200811050531.MDB



Grafický záznam silových poměrů a proudového zatížení

Příloha č.9

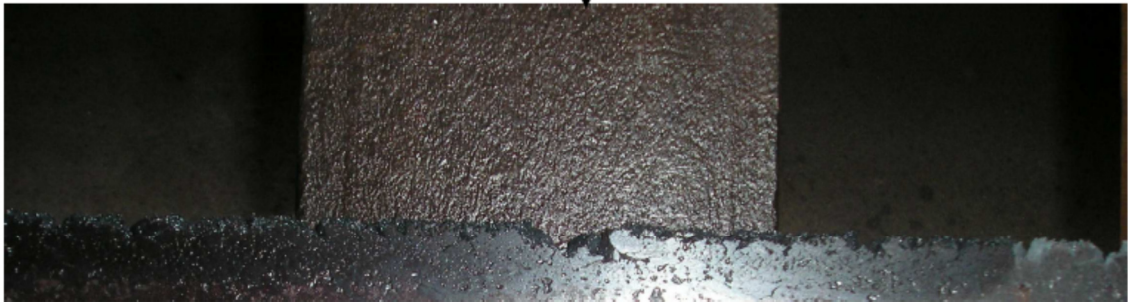
Pohled na rozdílné strany pásu vyválcovaného plochého ingotu



Levá strana vřívalku



Pravá strana vřívalku



Levá strana Pravá strana

