

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Provádění návarů na vysokouhlíkové oceli  
Implementation of Overlay on High-Carbon Steel

Student:

Bc. Petr Hlavatý

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Hlavatý**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Provádění návarů na vysokouhlíkové oceli**  
**Implementation of Overlay on High-Carbon Steel**

Zásady pro vypracování:

1. Posouzení současného stavu
2. Návrh optimálních svařovacích parametrů pro provádění návarů
3. Provedení a vyhodnocení zkušebních návarů
4. Diskuse dosažených výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:


- KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. Dostupné z: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80> >. ISBN 978-80-248-2414-7.  
HRIVŇÁK, I. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava: Veda, 2009, 486 s. ISBN 97-880-2273-167-6.  
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.* Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.  
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.* Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 350 s. ISBN 80-7204-130-4.  
TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvarovania*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1989, ISBN 80-05-00097-9.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 14. 5. 2015 .....

.....  


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 ods. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

14. 5. 2015



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Hlavatý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lipová 425, 721 00 Ostrava - Svinov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HLAVATÝ, Petr. *Provádění návarů na vysokouhlíkové oceli: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 68 s. Vedoucí práce Mohyla, Petr.

Diplomová práce se zabývá navařováním vysokouhlíkové oceli UIC 900 A. Tato ocel se využívá pro výrobu kolejnic. Teoretická část práce se zabývá základními technologiemi využívanými pro navařování kolejnic, rozdělením základních materiálů používaných pro výrobu kolejnic a k nim využívaných přídavných materiálů pro navařování. Dále výpočtem vneseného tepla a uhlíkového ekvivalentu. V experimentální části práce, byly určeny základní a přídavné materiály. Na vzorcích byly provedeny metalografické analýzy. Dále na vzorcích proběhlo měření tvrdosti HV 10 a ve vybraných oblastech měření mikrotvrdostí HV 0,1. Cílem diplomové práce je posouzení vhodnosti druhu přídavných materiálů, množství vneseného tepla do návaru s ohledem na vznik nežádoucích struktur a vad vyskytujících se v návaru.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS**

HLAVATÝ, Petr. *Weldability of high carbon steels: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology. 2015, 68 p. Thesis head: Mohyla, Petr.

The thesis deals with high carbon steel welding UIC 900 A. This steel is used for the production of rails. The theoretical part deals with the basic technology used for welding rails dividing the basic materials used for the production of rails and it used filler materials for welding. Furthermore, the calculation of heat input and the carbon equivalent. In the experimental part of the work, they were designed base and filler metals. The samples were carried out metallurgical analysis. Further samples was measuring the hardness of HV 10 and in selected areas of microhardness HV 0.1. The thesis aims to assess the suitability of the type of auxiliary materials, the amount of heat input to the weld with respect to the formation of undesirable structures and defects occurring in the weld.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	7
Úvod .....	9
<b>1 Posouzení současného stavu .....</b>	<b>10</b>
1.1 Technologie navařování .....	11
1.2 Základní materiály používané pro výrobu kolejnic.....	12
1.3 Přídavné materiály pro navařování kolejnic.....	13
1.4 Vnesené teplo při navařování .....	13
1.5 Výpočet uhlíkového ekvivalentu.....	15
<b>2 Experimentální část práce .....</b>	<b>18</b>
2.1 Použitý základní materiál .....	18
2.2 Použité přídavné materiály pro navařování vzorků.....	18
<b>3 Provádění zkušebních návarů .....</b>	<b>20</b>
<b>4 Vyhodnocení výsledků jednotlivých návarů .....</b>	<b>25</b>
4.1 Metalografické hodnocení vzorků.....	25
4.2 Měření tvrdostí HV10 a mikrotvrdostí HV 0,1 vybraných oblastí.....	25
4.3 Vyhodnocení návarů a diskuse výsledků .....	26
<b>5 Závěr.....</b>	<b>32</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>33</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>35</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>35</b>
<b>6 Přílohy .....</b>	<b>36</b>
Seznam příloh .....	37

## Seznam použitých značek a symbolů

$A_{c1}$	teplota počátku austenitické transformace při ohřevu	[°C]
$A_{c3}$	teplota konce austenitické transformace při ohřevu	[°C]
ARA	anizotermický rozpad austenitu	
$C_e$	uhlíkový ekvivalent	[hm. %]
IIW	mezinárodní svářečský institut	
HT	hranice natavení	
HV10	tvrdost dle Vickerse při zatížení 10kg	[-]
HV0,1	tvrdost dle Vickerse při zatížení 0,1kg	[-]
HZ	hranice ztavení	
I	svařovací proud	[A]
N	pásmo normalizace	
$M_s$	teplota začátku martenzitické přeměny	
Q	vnesené teplo	[kJ·cm <sup>-1</sup> ]
PP	pásmo přehřátí	
SK	svarový kov	
T	teplota	[°C]
t	čas	[s]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
U	svařovací napětí	[V]
v	rychlost svařování	[cm.min <sup>-1</sup> ]
$\eta$	tepelná účinnost metody navařování	[-]
ZM	základní materiál	
$\alpha$	železo $\alpha$ - ferit	
$\gamma$	železo $\gamma$ - austenit	
15	Plazmové svařování	
52	Laserové svařování	

111	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
114	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
121	Svařování pod tavidlem drátovou elektrodou
131	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování
136	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
137	Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
311	Kysliko-acetylenové svařování



## **Úvod**

Renovační technologie patří ke způsobům prodloužení životnosti dílů používaných v technické praxi.

Navařování vysokouhlíkových ocelí se vyskytuje v různých oblastech strojírenství, ke kterým patří renovace komponentů tvářecích nástrojů, válcovacích stolic, díly namáhané abrazí např. pluhová ostří a v neposlední řadě i kolejnice pro železniční a městskou dopravu.

Kolejnice podléhají opotřebení a poškození a jejich výměna je náročná, jak časově, tak ekonomicky. Rychlejší variantou je renovace kolejnicového svršku a dalších opotřebovaných částí, ke kterým patří (oblouky, jazyky výhybek, křížení, srdcovky, atd. Samotná renovace opotřebovaných dílů pak probíhá v podstatně kratší době, než celková výměna kolejové trati nebo jejích částí. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny nové technologie renovací, které by zlepšily kvalitu a životnost renovovaných dílů.

Diplomová práce se zabývá technologiemi navařování kolejnic vyrobených z vysokouhlíkových materiálů, za účelem vyšší odolnosti proti opotřebení. Samotné návary pak musí splňovat podmínky dané předpisy pro železniční a kolejovou dopravu.

Diplomová práce přináší do problematiky navařování nové poznatky ohledně studie aplikované mezivrstvy s odlišným přídavným materiálem, než samotný návarový přídavný materiál. Práce se zabývá detailní studií těchto přechodových oblastí a jejím vlivem na samotnou strukturu v oblastech návarového kovu, mezivrstvy, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu. Dále také vlivem na tvrdost a mikrotvrdost ve výše zmíněných oblastech. Praktickým přínosem této práce je vyhodnocení návarů provedených odlišnými přídavnými materiály při různých podmínkách navařování za účelem zvýšení kvality renovací kolejnic.

## **1 Posouzení současného stavu**

V současné době se pro navařování kolejnic používají různé přídavné materiály, které zajišťují požadované vlastnosti návarů. V případě použití návarů s podobným chemickým složením, je vytvořen svarový kov o stejných či podobných vlastnostech. V případě použití přídavných materiálů odlišného chemického složení, např. vysokolegovaného austenitického typu, mohou vznikat problémy, jak ve svarovém kovu, tak v základním materiálu, zejména v tepelně ovlivněné oblasti.

Cílem navařování je:

- obnova opotřebené součásti provozované součásti, návarová vrstva se volí tak aby byla o stejné nebo vyšší kvalitě než základní materiál
- zlepšení vlastností povrchů, např. korozi, tepelnému namáhání, abrazivnímu opotřebení, adheznímu opotřebení, erozi, kavitaci, atd.

Mezi hlavní nevýhody patří:

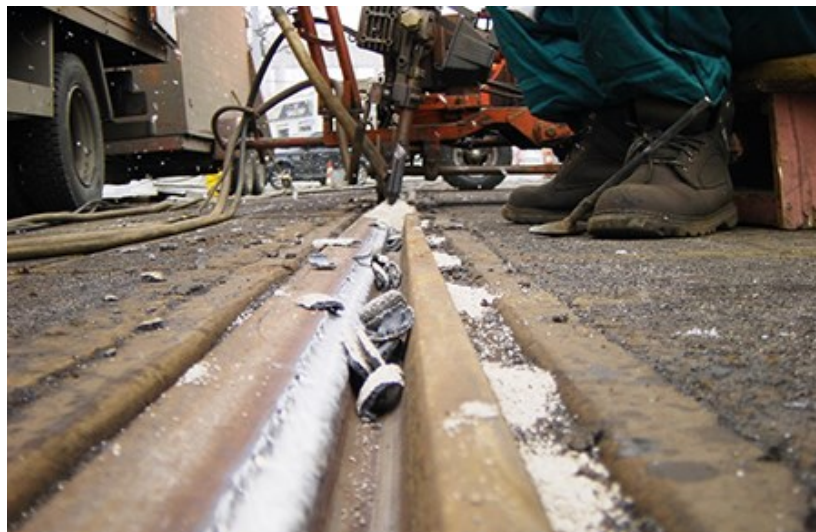
- tepelně ovlivněný základní materiál;
- v oblasti základního materiálu a návaru dochází ke změně struktur;
- při navařování vysokouhlíkových základních materiálů se musí být obvykle použit předehřev a dohřev;
- v závislosti na zvoleném způsobu navařování dochází k vyššímu objemu promíseného základního materiálu v návarové vrstvě;
- je obtížné zhotovit velmi tenké vrstvy;
- návarové vrstvy se musí obvykle opracovat (třískové, broušením) pro zajištění přesných rozměrů [2].

## 1.1 Technologie navařování

Použití různých technologií navařování lze rozdělit podle zdroje tepelné energie na:

- plamen hořlavého plynu ve směsi s kyslíkem - 311
- elektrický oblouk - 111, 114, 121, 131, 135, 136, 137
- plazmový oblouk - 15
- laser - 52

Pro navařování kolejnic jsou vhodné technologie 111, 114, 121, 135 a 136, protože se ve většině případů jedná o navařování ve venkovních prostorách nebo v halách (obr. 1.1). Podmínkou pro výběr technologie je množství vneseného tepla, které přímo ovlivňuje rychlost ochlazování návaru a jeho okolí.



Obr. 1.1 Navařování kolejnic automatem pod tavidlem (121) firmou Pražská strojírna a.s. [3]

Technologie navařování ovlivňuje hloubku závaru (průvaru), která by měla být co nejmenší, z důvodu zajištění malého podílu základního materiálu v návarovém kovu. Čím bude větší podíl roztaveného základního materiálu návarového kovu, tím více mohou být ovlivněny mechanické vlastnosti výsledného návaru [2].

## 1.2 Základní materiály používané pro výrobu kolejnic

Pro výrobu kolejnic v České republice jsou používány materiály uvedené v normě ČSN EN 13674-1, která je v souladu s mezinárodní normou UIC 860. V této normě se uvádí, základní nejpoužívanější druhy kolejnicových ocelí. V tabulce 1.1 jsou tyto oceli uvedeny i s ekvivalentním označením dle mezinárodní normy UIC 860 a předpisu pro ČD. V normě ČSN EN 13674-1 se udává značení číselnou hodnotou stupňů tvrdosti dle Brinella (200, 220, 260). V této práci bude použito značení dle UIC 860 [5,6,7].

Tab. 1.1 Oceli využívané pro výrobu kolejnic

EN 136741-1	UIC 860	ČD	Tvrdost [HB]	Tažnost [%]	Pevnost [MPa]
200	UIC 700	75 ČSD	200-240	Min. 14	Min. 680
220	UIC 800	-	220-260	Min. 12	Min. 770
260	UIC 900 A	85 ČSD-Vk	260-300	Min. 10	Min. 880
260 Mn	UIC 900 B	95 ČSD-Vk	260-300	Min. 10	Min. 880

Chemické složení těchto vybraných základních materiálu pro výrobu kolejnic jsou uvedeny v tab. 1.2.

Tab. 1.2 Chemické složení základních materiálů kolejnic

Oceli	Chemické složení [hm. %]										
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Al	N	V	Ni	Mo
UIC 700	0,4	0,15	0,7	0,008	max.	max.	max.	max.	max.	-	-
	0,6	0,58	1,2	0,035	0,15	0,15	0,004	0,009	0,03	-	-
UIC 800	0,5	0,2	1,0	0,008	max.	max.	max.	max.	max.	-	-
	0,6	0,6	1,25	0,025	0,025	0,15	0,004	0,009	0,03	-	-
UIC 900 A	0,62	0,15	0,7	0,008	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
	0,8	0,58	1,2	0,025	0,025	0,15	0,004	0,009	0,03	0,1	0,02
UIC 900 B	0,55	0,15	1,3	0,008	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
	0,75	0,6	1,7	0,025	0,025	0,15	0,004	0,009	0,03	0,1	0,02

### 1.3 Přídavné materiály pro navařování kolejnic

Jednou z metod navařování, vhodnou pro navařování kolejnic je technologie navařování automatem pod tavidlem 121 (SAW), která zajišťuje potřebné vnesené teplo a tím umožňuje nahradit předeřev tam, kde ho není možné aplikovat.

V tabulce 1.3 jsou uvedeny nejčastěji používané přídavné materiály pro navařování kolejnic metodou 121. Pro navařování touto metodou, lze použít kladení mezivrstvy z odlišného přídavného materiálu [12].

Tab. 1.3 Chemické složení přídavných materiálu pro navařování kolejnic

Přídavné materiály	Chemické složení [hm. %]								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Ni	Mo
A234 + OK FLUX 10.71	0,06	0,32	1,26	0,01	0,019	0,08	0,08	2,35	0,02
OK Autrod 12.20 + OK FLUX 10.71	0,07	0,06	1,12	0,017	0,011	-	-	-	-
OK Autrod 16.95 + OK FLUX 10.93	0,2	0,46	6,4	-	-	18,6	-	8,45	0,46
Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93	0,11	0,22	6,12	-	-	18,24	-	9,30	-
Castolin 3205 FLUX 3205	0,3	0,55	14,00	-	-	16,00	-	1,70	-

### 1.4 Vnesené teplo při navařování

Vnesené teplo při svařování a navařování má zásadní vliv na rychlost ochlazování v oblasti návarů, což má za následek změny v mikrostruktuře. Hlavní změny mikrostruktury svarového kovu a v tepelně ovlivněné oblasti závisí na více faktorech, jako je chemické složení, samotná výchozí mikrostruktura TOO a rychlost ochlazování.

Rychlost ochlazování je závislá zejména na fyzikálních a materiálových konstantách např. (koeficient tepelné vodivosti, měrné tepelné vodivosti), dále na teplotě okolí a množství vneseného tepla na jednotku délky návaru  $Q$ . Obecně při zvyšování tepelného příkonu rychlost ochlazování návaru klesá [8].

Vztah, pro výpočet vneseného tepla u navařování elektrickým obloukem [8].

$$Q = \frac{60 \cdot U \cdot I \cdot \eta}{v} \quad [J \cdot cm^{-1}] \quad (1.1)$$

kde:	U	je navařovací napětí	[V]
	I	je navařovací proud	[A]
	v	je rychlost navařování	[cm·min <sup>-1</sup> ]
	$\eta$	je tepelná účinnost metody navařování	[-]

Tepelná účinnosti  $\eta$  se liší podle dané použité metody navařování. V tabulce 1.4 jsou uvedeny hodnoty tří nejpoužívanější metody navařování elektrickým obloukem a pro ně určená hodnota  $\eta$  [8].

Tab. 1.4 Tepelná účinnost  $\eta$  pro jednotlivé technologie navařování

Technologie navařování	$\eta$ [-]
111	0,8
121	1,0
114	0,8

Použití vysokého tepelného příkonu při navařování má podobný účinek jako teplota předehřevu, příp. dohřevu. Při navařování kolejnic z vysokouhlíkových ocelí se toto opatření aplikuje, jako náhrada teploty předehřevu tam kde jí není možné použít a k zajištění požadovaných vlastností při navařování.

Pokud ale dojde k nadměrnému použití vneseného tepla, dochází k většímu průvaru do základního materiálu a tím k většímu podílu roztaveného základního materiálu ve svarovém kovu, jež může zásadně ovlivnit vlastnosti návaru. Se stoupajícím obsahem uhlíku v návaru nad kritickou hranici (ze základního materiálu), mohou v návaru vznikat trhliny. Jednou z cest, jak snížit obsah uhlíku v návaru je aplikace mezivrstvy s obsahem niklu [10,11].

## 1.5 Výpočet uhlíkového ekvivalentu

Navarování a samotnou svařitelnost vysokouhlíkových ocelí používaných na výrobu kolejnic lze posuzovat vzhledem k vlivům daných legujících prvků a uhlíku na vznik zákalných struktur po navarování. Sklony ke vzniku těchto struktur nám určuje ekvivalent uhlíku  $C_e$ . Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu byl použitý vztah dle Mezinárodního svářečského institutu (IIW) [8].

- Výpočet uhlíkového ekvivalentu  $C_e$  dle (IIW)

$$C_e = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{15} \quad [hm. \%] \quad (1.2)$$

- Výpočet uhlíkového ekvivalentu  $C_e$  dle (Ito, Bessyo)

$$C_e = C + \frac{M_n}{20} + \frac{M_o}{15} + \frac{N_i}{60} + \frac{C_r}{20} + \frac{V}{10} + \frac{C_u}{20} + \frac{S_i}{30} + 5 \cdot B \quad [hm. \%] \quad (1.3)$$

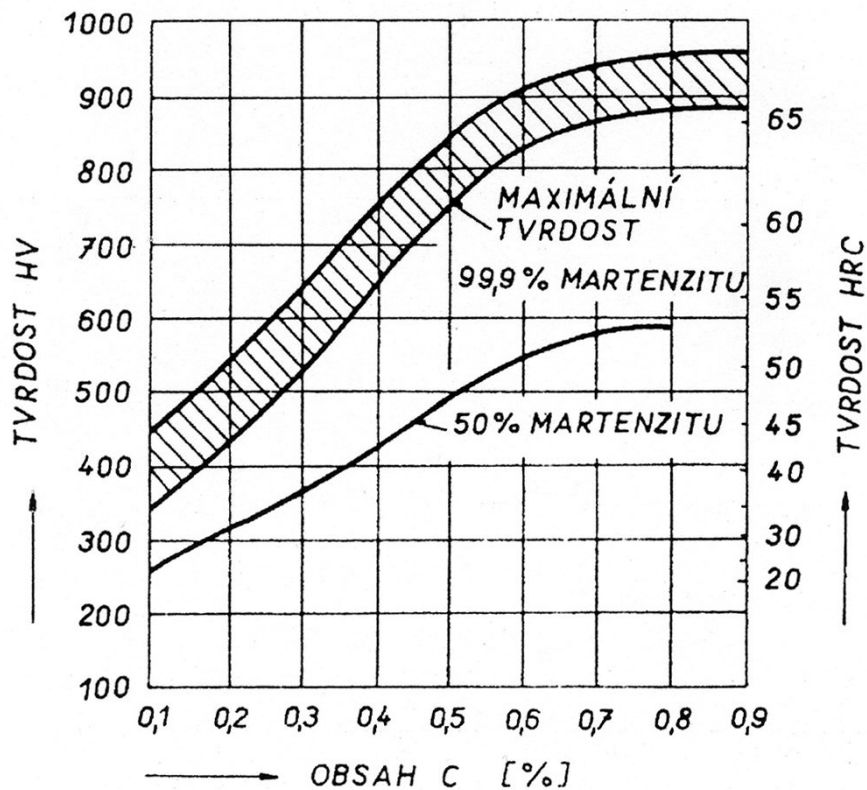
V tabulce 1.5 jsou uvedeny hodnoty  $C_e$  pro výše zmíněné materiály kolejnic.

Tab. 1.5 Vypočtené hodnoty uhlíkového ekvivalentu pro danou vysokouhlíkovou ocel

Typ oceli	$C_e$ [IIW]
UIC 700	0,98 hm. %
UIC 900 A	0,89 hm. %
UIC 1100	1,03 hm. %

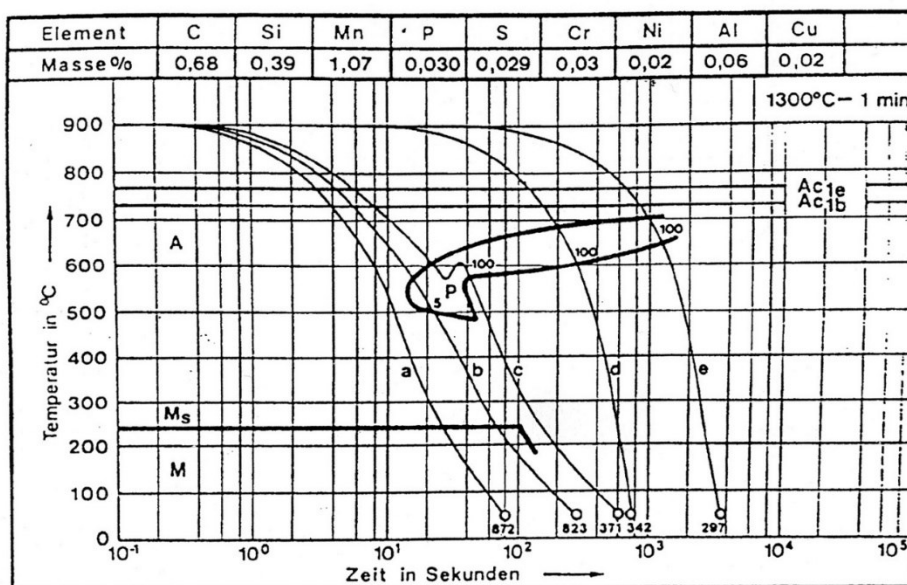
Pokud hodnota uhlíkového ekvivalentu dosahuje hodnoty  $C_e \leq 0,45\%$  (IIW), není nutné provádět zásadní opatření při navarování. V těchto případech se pro větší tloušťky materiálů aplikuje předehřev 100° až 150°C. Vysokouhlíkové materiály používané pro výrobu kolejnic však dosahují vyšších hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 1.5. Dle uhlíkového ekvivalentu lze zvolit tepelný příkon Q tak, aby nevznikla v tepelně ovlivněné oblasti svaru (návaru) zákalná struktura, která by mohla překročit horní hranici tvrdosti stanovenou normou.

V závislosti na obsahu uhlíku v základním materiálu lze odhadnout hodnoty tvrdosti při výskytu martenzitu ve struktuře dle obr. 1.2 [15].



Obr. 1.2 Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti [16]

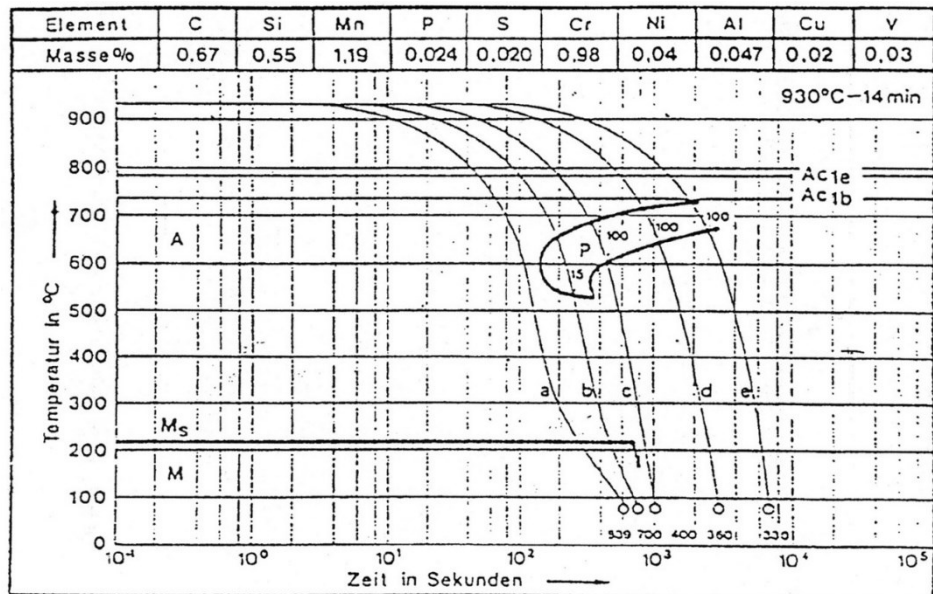
Další možností určení výše předehřevu a dohřevu při navařování je posouzení základního materiálu dle ARA diagramu (Anizotermický rozpad austenitu). Teplota předehřevu se obvykle pohybuje nad hodnotu  $M_s$ . Pokud tento diagram existuje pro danou ocel, je možné z něho definovat teplotu začátku martenzitické přeměny  $M_s$  a její dobu (Obr. 1.3 a 1.4). Jak je patrné materiál kolejnic UIC900A má teplotu  $M_s$  cca  $240^\circ\text{C}$  s délkou martenzitické přeměny cca  $10^2$  s (Obr. 1.3) [16].



Obr. 1.3 ARA diagram oceli UIC 900A [17]



Kdežto materiál kolejnic UIC 1100 má teplotu  $M_s$  cca  $220^\circ\text{C}$  s délkou martenzitické přeměny přibližující se času  $10^3$  s (Obr. 1.4). I když je čára  $M_s$  u UIC 1100 na teplotě nižší cca  $220^\circ\text{C}$ , tj. výhodnější stav pro nižší teplotu předehřevu, důležitější je její délka. Při přechodu ochlazovací křivky přes čáru  $M_s$  vzniká martenzit v časech až 1 000 s. Z toho vyplývá, že je nutné použít dohřev časově dlouhý, který nelze na kolejnicích, zabudovaných v panelech nebo zádlažbě aplikovat [17].



Obr. 1.4 ARA diagram oceli UIC 1100 [17]

## 2 Experimentální část práce

### 2.1 Použitý základní materiál

Pro experimentální část práce byl použitý základní materiál UIC 900 A o chemickém složení viz. tabulka 2.1.

Tab. 2.1 Chemické složení základního materiálu UIC 900 A

Ocel	Chemické složení [hm. %]										
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Al	N	V	Ni	Mo
UIC 900 A	0,62	0,15	0,7	0,008	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
	0,8	0,58	1,2	0,025	0,025	0,15	0,004	0,009	0,03	0,1	0,02

Mechanické vlastnosti základního materiálu UIC 900 A jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti základního materiálu UIC 900 A

Ocel	Tvrдость [HB]	Tažnost [%]	Pevnost [MPa]
UIC 900 A	260-300	Min. 10	Min. 880

### 2.2 Použití přídavné materiály pro navařování vzorků

Pro zhotovení všech vzorků byla použita metoda navařování 121. Pro danou metodu a druh návaru byl vybrán jako přídavný materiál mezivrstvy drát A234 v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.71. Pro návar byl použit drát Wegusta 1.4370 kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93 a drát Castolin 3205 v kombinaci s tavidlem FLUX 3205. Chemické složení přídavných materiálů je uvedeno v tabulce 2.3 [12].

Tab. 2.3 Chemické složení přídavných materiálů pro navařování

Přídavné materiály	Chemické složení [hm. %]								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Ni	Mo
A234 + OK FLUX 10.71	0,06	0,32	1,26	0,01	0,019	0,08	0,08	2,35	0,02
Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93	0,11	0,22	6,12	-	-	18,24	-	9,30	-
Castolin 3205 + FLUX 3205	0,3	0,55	14,00	-	-	16,00	-	1,70	-

V tabulce 2.4 jsou uvedeny konkrétní přídavné materiály použité u vzorků N1-N5, jak pro mezivrstvu tak i návar.

Tab. 2.4 Použité přídavné materiály pro dané vzorky

Vzorky	Přídavný materiál pro mezivrstvu	Přídavný materiál pro návar
N1	-	Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93
N2	A234 + OK FLUX 10.71	Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93
N3	A234 + OK FLUX 10.71	Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93
N4	-	Castolin 3205 + FLUX 3205
N5	A234 + OK FLUX 10.71	Wegusta 1.4370 + OK FLUX 10.93

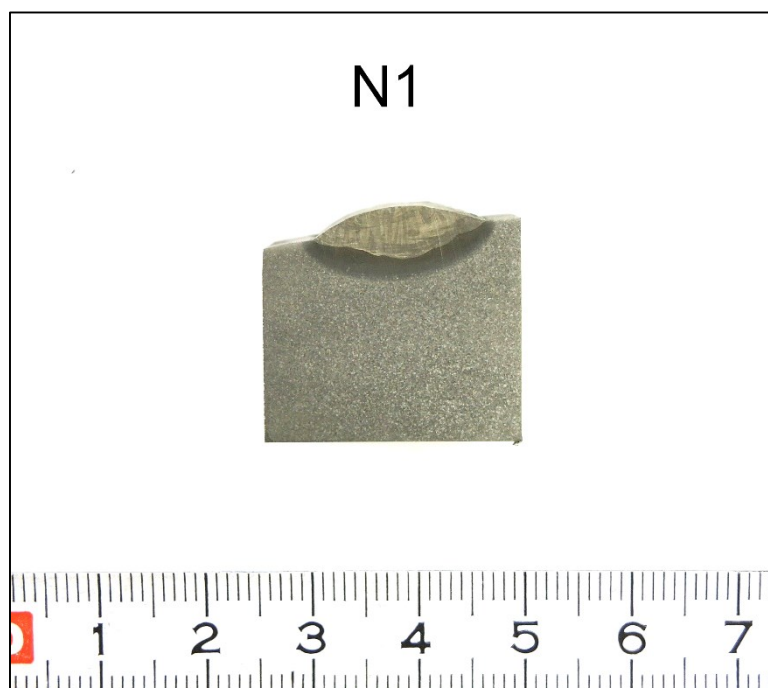
### 3 Provádění zkušebních návarů

- **Vzorek N1**

Jedná se o horní návar jednovrstvý vzorku N1 na základním materiálu UIC 900 A – použitou metodou navařování 121 (Obr. 3.1). Na tomto vzorku nebyl použit předeřev. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.1. Jako přídatný materiál byl použitý drát Wegusta 1.4370  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Tab. 3.1 Parametry navařování vzorku N1

Vzorek	Základní materiál	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost navařování [cm•min <sup>-1</sup> ]	Vnesené teplo [kJ•cm <sup>-1</sup> ]
N1	UIC 900 A	350	31	60	10,31



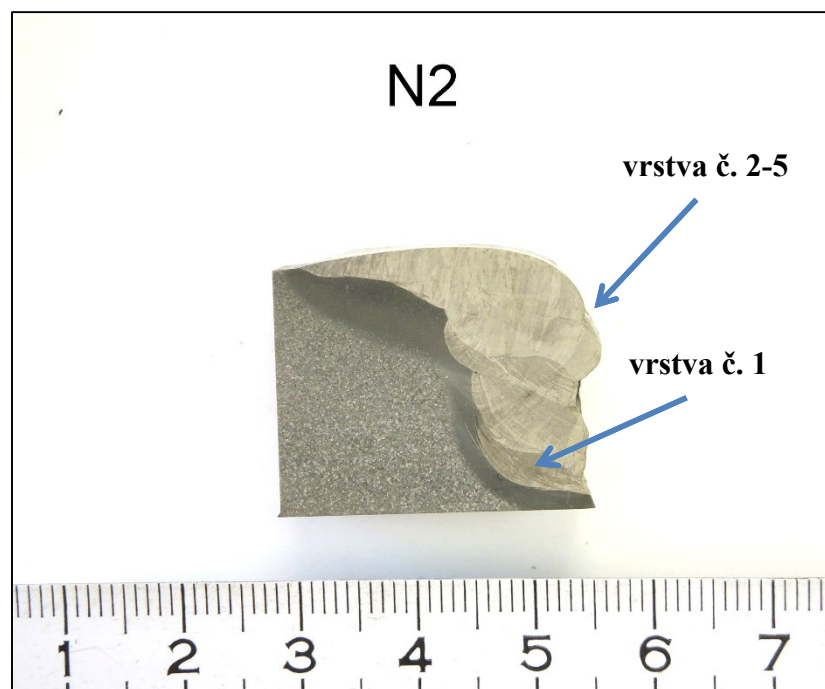
Obr. 3.1 Makrostruktura návaru vzorku N1

- **Vzorek N2**

Vícevrstvý boční návar vzorku N2 byl proveden na základní materiál UIC 900 A - metodou navařování 121, pro všechny vrstvy bez použití přehřevu (Obr. 3.2) s teplotou interpass 180°C. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.2. Jako přídatný materiál zde byly použity dva druhy, první podkladová vrstva byla navařena drátem A234  $\varnothing$  2,4 mm s tavidlem OK FLUX 10.71. Další vrstvy byly navařovány dvojdrátem Wegusta 1.4370  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Tab. 3.2 Parametry navařování vzorku N2

Vrstva	Základní materiál	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost navařování [cm•min <sup>-1</sup> ]	Vnesené teplo [kJ•cm <sup>-1</sup> ]
1	UIC 900 A	300	26	60	7,41
2-5	UIC 900 A	450	38	33	29,54



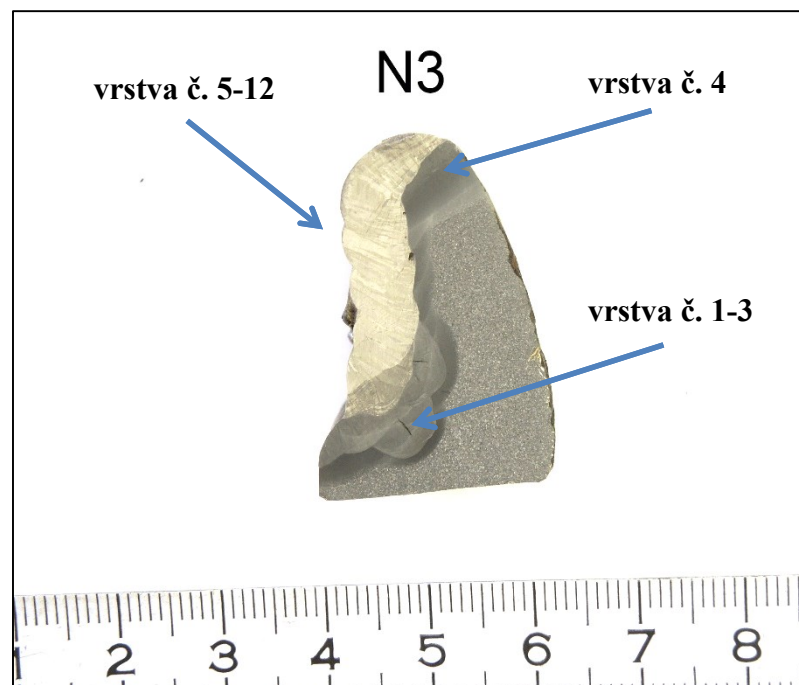
Obr. 3.2 Makrostruktura návaru vzorku N2

- **Vzorek N3**

Vícevrstvý boční návar vzorku N3 byl proveden na základní materiál UIC 900 A - metodou navařování 121 pro všechny vrstvy (Obr. 3.3). Nebyl zde použit přehřev a teplota interpass byla 180°C. Parametry navařování jsou uvedeny v tabulce 3.3. Přídavný materiál pro první základové vrstvy, aplikované na spodní i horní části vzorku byl drát A234  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.71. Následující vrstvy byly kladeny drátem Wegusta 1.4370  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Tab. 3.3 Parametry navařování vzorku N3

Vrstva	Základní materiál	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost navařování [cm•min <sup>-1</sup> ]	Vnesené teplo [kJ•cm <sup>-1</sup> ]
1 -3	UIC 900 A	270	60	60	7,7
4	UIC 900 A	270	60	60	7,7
5-12	UIC 900 A	350	31	60	10,93



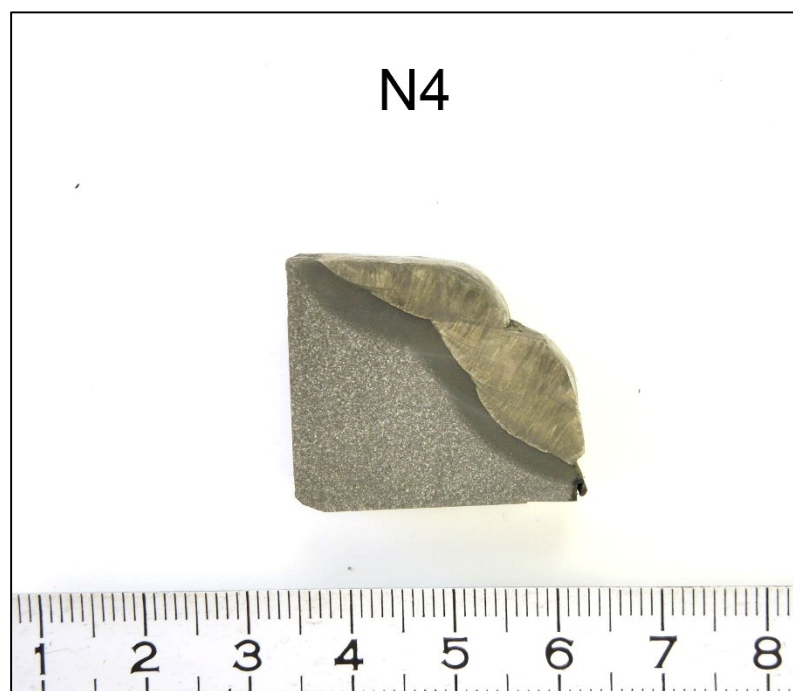
Obr. 3.3 Makrostruktura návaru vzorku N3

- **Vzorek N4**

U vzorku N4 byl zhotoven boční vícevrstvý návar na základním materiálu UIC 900 A. Jako metoda navařování zde byla použita metoda 121 (Obr. 3.4). Nebyl zde aplikován předehřev teplota interpass byla 180°C. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.4. Přídavný materiál byl použit drát Castolin 3205  $\varnothing$  2,8 mm v kombinaci s tavidlem Castolin FLUX 3205.

Tab. 3.4 Parametry navařování vzorku N4

Vzorek	Základní materiál	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost navařování [cm•min <sup>-1</sup> ]	Vnesené teplo [kJ•cm <sup>-1</sup> ]
N4	UIC 900 A	320	32	30	19,46



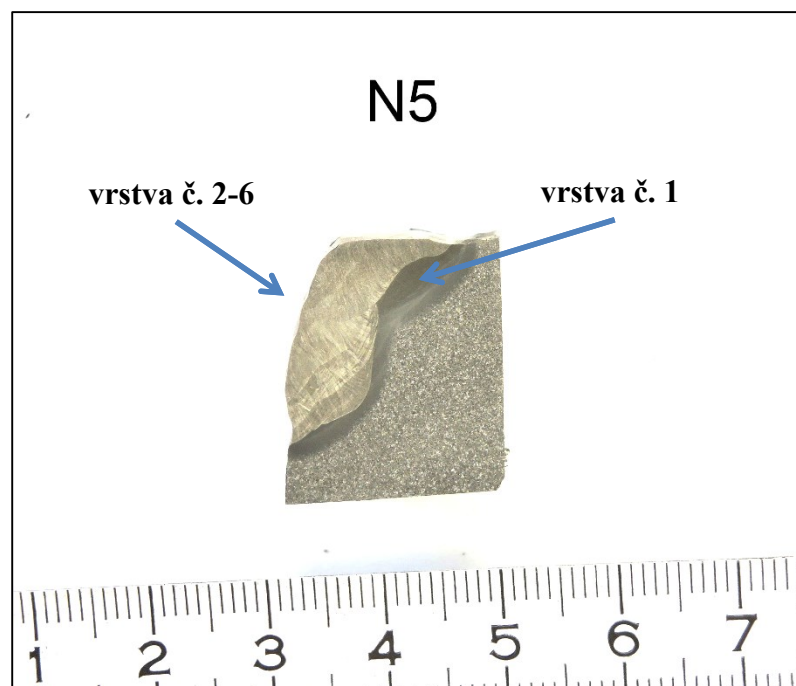
Obr. 3.4 Makrostruktura návaru vzorku N4

- **Vzorek N5**

Na vzorku N5 byl zhotoven boční vícevrstvý návar na základní materiál UIC 900 A – metodou navařování 121 pro všechny vrstvy (Obr. 3.5). Nebyl zde použit předehřev s teplotou interpass 180°C. Parametry navařování jsou uvedeny v tabulce 3.5. Přídavný materiál pro první horní základní vrstvu byl drát A234  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.71. Následující vrstvy byly navařeny drátem Wegusta 1.4370  $\varnothing$  2,4 mm v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Tab. 3.5 Parametry navařování vzorku N5

Vrstva	Základní materiál	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost navařování [cm•min <sup>-1</sup> ]	Vnesené teplo [kJ•cm <sup>-1</sup> ]
1	UIC 900 A	300	26	60	7,41
2-6	UIC 900 A	300	30	60	8,55



Obr. 3.5 Makrostruktura návaru vzorku N5



## 4 Vyhodnocení výsledků jednotlivých návarů

### 4.1 Metalografické hodnocení vzorků

U všech vzorků N1-N5 byla provedena příprava pro posouzení makrostruktury a v daných oblastech i mikrostruktury. Pro posouzení struktur základního materiálu a návaru využitých u snímků makrostruktury bylo použito leptadlo pro austenit a uhlíkatý materiál dle Adler – Matting + 10% HNO<sub>3</sub>. Toto leptadlo nebylo vhodné pro studium mikrostruktury, proto se zde aplikovalo elektrolytické leptání 4% H<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> + 4% HNO<sub>3</sub> (Nital), parametry leptání 5 V, 2 A, po dobu 30 s.

Výsledky metalografického posouzení jsou uvedeny v kapitole 4.3 a v přílohách (Obr. P1.1 až Obr. P1.22).

### 4.2 Měření tvrdostí HV10 a mikrotvrdostí HV 0,1 vybraných oblastí

Na všech vzorcích se provedlo měření tvrdostí HV10. Toto měření probíhalo v oblastech svarového kovu přes tepelně ovlivněnou oblast, až do základního materiálu. Maximální možná hodnota tvrdostí byla stanovena na 420 HV10 dle předpisu "Svařování železničních kolejových vozidel pro České dráhy ČD V 95/5" a "Předpis Českých drah pro svařování a navařování kolejového svršku ČD V 3/5" pro použitý základní materiál UIC 900 A [13,14].

Na základě výsledků tvrdostí HV 10 a následné dokumentace mikrostruktury byly stanoveny oblasti, kde bylo provedeno měření mikrotvrdosti HV 0,1. Mezi oblastmi kde se provádělo, měření mikrotvrdosti patří TOO základního materiálu, TOO mezivrstvy, mezivrstvy a návarového kovu a základního materiálu. Vzdálenost mezi vtisky byla stanovena na 300 μm. Příklad měření mikrotvrdostí HV0,1 je znázorněn na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Snímek dokumentující linii vtisků mikrotvrlosti HV 0,1 vzorku N5

### 4.3 Vyhodnocení návarů a diskuse výsledků

- **Vzorek N1**

Jedná se o horní návar jednovrstvý vzorku N1 na základním materiálu UIC 900 A – použitou metodou navařování 121 (Obr. 3.1). Na tomto vzorku nebyl použit předehřev. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.1, vnesené teplo do návaru bylo  $Q = 10,31 \text{ kJ.cm}^{-1}$ . Jako přídavný materiál byl použitý drát Wegusta 1.4370  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Hodnoty tvrdost HV 10 vzorku N1 se pohybovaly v oblasti návaru od 317 do 464, TOO mělo maximální tvrdost 681 a tvrdost základního materiálu byla v rozmezí 243-247 (Obr. P2.1).

Hodnoty mikrotvrdotí HV0,1 oblasti návaru se pohybovaly v rozmezí 291-335, nejvyšší naměřená mikrotvrdotost oblasti TOO byla 665 obdobně jako u HV10, mikrotvrdotost základního materiálu se pohybovala v rozmezí 278-293.

Mikrostruktura návarového kovu je tvořena austenitem a delta feritem (Obr. P1.1), oblast TOO tvoří popuštěný martenzit (Obr. P1.2) se zbytkovým austenitem a troostitem

(Obr. P1.4) a oblast základního materiálu obsahuje lamelární perlit a feritem vytvářející souvislé síťoví s pilovitými výběžky feritu (Obr. P1.5).

U tohoto vzorku byla překročena maximální stanovená tvrdost HV10, vyšší hodnoty tvrdosti se potvrdily i u měření HV0,1. Dokumentace mikrostruktury potvrdila nežádoucí martenzitickou strukturu.

**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že návar N1 je nevyhovující.**

## • Vzorek N2

Vícevrstvý boční návar vzorku N2 byl proveden na základní materiál UIC 900 A - metodou navařování 121, pro všechny vrstvy bez použití přehřevu (Obr. 3.2) s teplotou interpass 180°C. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.2 teplo vnesené do mezivrstvy, bylo  $Q = 7,41 \text{ kJ.cm}^{-1}$  a návaru  $Q = 29,54 \text{ kJ.cm}^{-1}$ . Jako přídatný materiál zde byly použity dva druhy, první podkladová vrstva byla navařena drátem A234  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  s tavidlem OK FLUX 10.71. Další vrstvy byly kladeny dvojdrátem Wegusta 1.4370  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Hodnoty tvrdosti HV 10 vzorku N2 se pohybovaly v oblasti návaru od 210 do 215, TOO mělo maximální tvrdost 401 a tvrdost základního materiálu byla v rozmezí 253-254 (Obr. P2.2).

Měření hodnot mikrotvrdosti HV0,1 na vzorku N2 proběhlo celkem ve třech oblastech návaru. První linie měření probíhalo ve spodní části návaru oblastí mezivrstvy až do základního materiálu, zde se hodnota mikrotvrdosti mezivrstvy pohybovala od 297 do 399, maximální naměřená hodnota mikrotvrdosti v TOO byla 342 a hodnota mikrotvrdosti základního materiálu se pohyboval v rozmezí 236-302 (Obr. P3.2). Druhá linie měřená měřena na svrchní části vzorku, zde se hodnota mikrotvrdosti návaru pohybovala od 246 do 256, nejvyšší naměřená hodnota mikrotvrdosti oblasti TOO byla 385, mikrotvrdost základního materiálu se pohyboval v rozmezí 246-272 (Obr. P3.3). Třetí linie měření definovala tvrdosti v oblasti návaru a mezivrstvy, maximální hodnota mikrotvrdosti zde byla 445 (Obr. P3.4).

Mikrostruktura vzorku N2 v oblasti návaru odhalila interkrystalickou trhlinu (Obr. P1.6). Mikrostruktura pásma přehřátí tvořila směs popuštěných základních struktur s ojediněle vyloučeným feritem (Obr. P1.7). Mikrostruktura oblasti návaru, mezivrstvy a základního materiálu tvoří austenitická struktura s delta feritem, přechodová vrstva tvořená

martenzitem, mezivrstva tvořená perlitem a ojedinělými pilovitými výběžky feritu (Obr. P1.9).

Vzorek N2 vyhovoval v celé oblasti návaru, TOO a základního materiálu stanovené maximální hodnoty tvrdosti HV 10 i mikrotvrdosti HV 0,1. Jediná oblast, kde byl tento limit překročen, byla oblast mezivrstvy u měření mikrotvrdosti HV 0,1 dále, se v oblasti návaru vyskytovala interkrystalická trhlinka.

**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že návar N2 je nevyhovující.**

### • Vzorek N3

Vícevrstvý boční návar vzorku N3 byl proveden na základní materiál UIC 900 A - metodou navařování 121 pro všechny vrstvy (Obr. 3.3). Nebyl zde použit přehřev a teplota interpass byla 180°C. Parametry navařování jsou uvedeny v tabulce 3.3, teplo vnesené do mezivrstvy bylo  $Q = 7,7 \text{ kJ.cm}^{-1}$  a návaru  $Q = 10,93 \text{ kJ.cm}^{-1}$ . Přídavný materiál pro první základové vrstvy, aplikované na spodní i horní části vzorku byl drát A234  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.71. Následující vrstvy byly provedeny s drátem Wegusta 1.4370  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Hodnoty tvrdost HV 10 vzorku N3 se pohybovala v oblasti návaru od 312 do 221, TOO mělo maximální tvrdost 297 a tvrdost základního materiálu byla v rozmezí 236-247 (Obr. P2.3).

Měření hodnot mikrotvrdostí HV0,1 na vzorku N3 probíhalo ve čtyřech liniích. U první linie horní části vzorku se hodnota mikrotvrdosti pohybovala v oblasti návaru a mezivrstvy od 248 do 365 (Obr. P3.5). V druhé linii spodní části vzorku oblasti návaru a mezivrstvy byla maximální naměřená hodnota mikrotvrdosti 533 (Obr. P3.6). Třetí linie horní části vzorku oblasti mezivrstvy a základního materiálu, kde se mikrotvrdost mezivrstvy pohybovala v rozmezí od 279 do 314, maximální naměřená hodnota mikrotvrdosti v TOO byla 314 a hodnota mikrotvrdosti základního materiálu se pohyboval v rozmezí 232-250 (Obr. P3.7). Čtvrtá linie měření spodní části vzorku oblasti mezivrstvy a základního materiálu, pro oblast mezivrstvy byla naměřena maximální hodnota mikrotvrdosti 396, pro TOO 391 a mikrotvrdost základního materiálu se pohyboval v rozmezí 244-309 (Obr. P3.8).

Mikrostruktura vzorku N3 oblasti návaru a mezivrstvy tvořila austenit s delta feritem a popuštěný martenzit (Obr. P1.11), oblasti mezivrstvy a základního materiálu tvořila směs

popuštěných základních struktur s ojedinělým feritem po hranicích zrn (Obr. P1.12). V návaru se vyskytovaly vady typu pórů (Obr. P1.13, Obr. P1.14) a interkrystalických trhlin (Obr. P1.15).

Z hlediska hodnot tvrdostí HV 10 je vzorek vyhovující. Při měření mikrotvrdotí ovšem v oblasti hranice ztavení návaru a mezivrstvy byla maximální hodnota stanovené dovolené tvrdosti překročena. Dále se v návaru vyskytují vady typu trhlin, pórů.

**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že návar N3 je nevyhovující.**

## • Vzorek N4

U vzorku N4 byl zhotoven boční vícevrstvý návar na základním materiálu UIC 900 A. Jako metoda navařování zde byla použita metoda 121 (Obr. 3.4). Nebyl zde aplikován předehřev teplota interpass byla 180°C. Parametry použité při navařování jsou uvedeny v tabulce 3.4 vnesené teplo do návaru, bylo  $Q = 19,46 \text{ kJ.cm}^{-1}$ . Přídavný materiál byl použit drát Castolin 3205  $\varnothing 2,8 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem Castolin FLUX 3205.

Hodnoty tvrdost HV 10 vzorku N4 se pohybovala v oblasti návaru od 413 do 433, TOO mělo maximální tvrdost 542 a tvrdost základního materiálu byla v rozmezí 236-264 (Obr. P2.4).

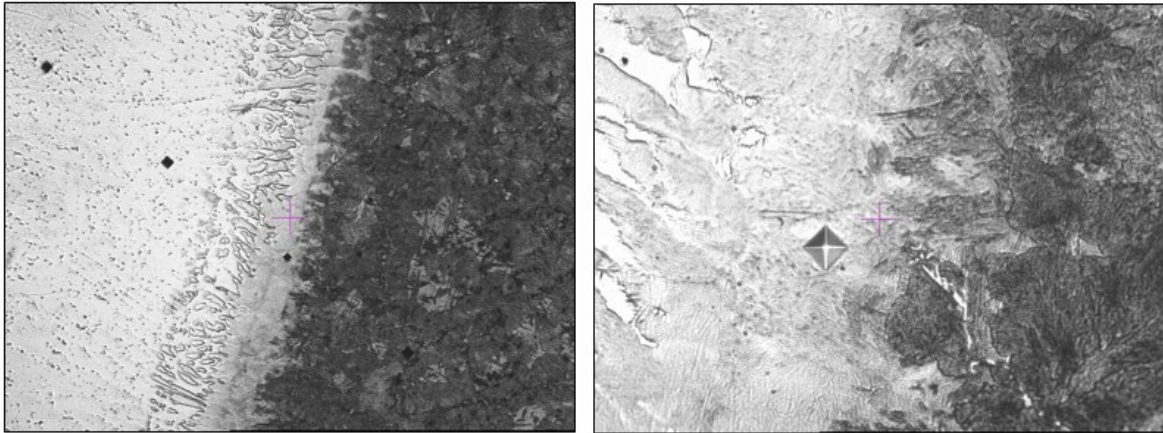
Měření hodnot mikrotvrdotí HV0,1 pro vzorek N4 bylo prováděno ve dvou oblastech návaru. U první linie dolní oblasti vzorku se pohybovala mikrotvrdot návaru od 420 do 451, maximální hodnota mikrotvrdoti naměřená v TOO byla 514 a hodnota mikrotvrdoti základního materiálu se pohyboval v rozmezí 242-326. U druhé linie měření horní oblasti vzorku se pohybovala mikrotvrdot návaru od 408 do 425 maximální naměřená hodnota mikrotvrdoti v TOO na hranici ztavení byla 770 (Obr. 4.2) a hodnota mikrotvrdoti základního materiálu se pohyboval v rozmezí 246-329.

Mikrostruktura vzorku N4 oblasti hranice natavení je tvořena austenitická s delta feritem, pásmem popuštěného martenzitu, směsí popuštěných základních struktur s ojedinělým výskytem feritu (Obr. P1.17), objevil se zde také četný výskyt pilovitých výběžků feritu (Obr. P1.20). Na vzorku se také nacházela trhlina vycházející z povrchu (Obr. P1.19).

Maximální dovolená hodnota tvrdosti u vzorku N4 byla překročena u obou měření tvrdosti jak u HV 10 tak HV 0,1. Na hranici ztavení byla naměřena nejvyšší hodnota mikrotvrdoti 770 (Obr. 4.2), která značně překračuje maximální dovolenou hodnotu 420

mikrotvrdomosti. V návaru se dále vyskytla trhlinka vycházející z povrchu návaru do návaru.

**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že návar N4 je nevyhovující.**



Obr. 4.2 Dokumentace vpichů měření mikrotvrdomosti vzorku N4 HV 0,1 s maximální naměřenou hodnotou 770

#### • Vzorek N5

Na vzorku N5 byl zhotoven boční vícevrstvý návar na základní materiál UIC 900 A – metodou navařování 121 pro všechny vrstvy (Obr. 3.5). Nebyl zde použit přehřev s teplotou interpass 180°C. Parametry navařování jsou uvedeny v tabulce 3.5 teplo vnesené do mezivrstvy, bylo  $Q = 7,41 \text{ kJ.cm}^{-1}$  a návaru  $Q = 8,55 \text{ kJ.cm}^{-1}$ . Přídavný materiál pro první horní základní vrstvu byl drát A234  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.71. Následující vrstvy byly navařeny drátem Wegusta 1.4370  $\varnothing 2,4 \text{ mm}$  v kombinaci s tavidlem OK FLUX 10.93.

Hodnoty tvrdost HV 10 vzorku N5 se pohybovala v oblasti návaru od 348 do 413, TOO mělo maximální tvrdost 402 a tvrdost základního materiálu byla v rozmezí 253-274 (Obr. P2.5).

Měření hodnot mikrotvrdomostí HV0,1 na vzorku N4 probíhalo ve třech liniích. U první linie horní části vzorku oblasti mezivrstvy a základního materiálu se hodnota mikrotvrdomosti pohybovala v oblasti návaru od 389 do 406, maximální naměřená hodnota mikrotvrdomosti v TOO byla 415 a hodnota mikrotvrdomosti základního materiálu se pohyboval v rozmezí 245-281 (Obr. P3.11). U druhé linie měření dolní části vzorku se hodnota mikrotvrdomosti pohybovala v oblasti návaru od 380 do 411, maximální hodnota mikrotvrdomosti naměřená v TOO byla 408 a hodnota mikrotvrdomosti základního materiálu se pohyboval v rozmezí

246-280 (Obr. P3.12). Třetí linie měření oblasti návaru a mezivrstvy se hodnota mikrotvrdomosti pohybovala v rozmezí od 354 do 414 (Obr. P3.13).

Mikrostruktura vzorku N5 oblasti hranice natavení je tvořena austenitem s delta feritem popuštěným martenzit (Obr. P1.21) a směsí popuštěných základních struktur (Obr. P1.22).

Ve vzorku nebyly nalezeny žádné vady ani nepřípustné struktury. Rovněž tvrdosti HV 10 a HV 0,1 nevykazovaly, vyšší než maximální stanovené dovolené hodnoty.

**Z výše uvedených výsledků vyplývá, že návar N5 je vyhovující.**

## 5 Závěr

Diplomová práce se zabývá renovací kolejnicového svršku základního materiálu UIC 900 A a použitím vhodných přídavných materiálů a jejich kombinací při kladení jednotlivých vrstev návarů. Z technologických důvodů se při zhotovování návarů nemohl aplikovat předehřev, který má obzvlášť pro použitou ocel s vyšším uhlíkovým ekvivalentem zásadní vliv na vznik nežádoucích struktur.

Diplomová práce se rozděluje do dvou základních částí. Teoretická část práce se zabývá vlivy základního a přídavného materiálu na výsledný návar a dalšími vlivy na provádění návarů jako vliv uhlíkového ekvivalentu, vnesené teplo a promísení návarového kovu.

V experimentální části byl určen základní materiál a přídavné materiály. Dále byl proveden návrh zkušebních vzorků a jejich samotné zhotovení. Na vzorcích byla provedena metalografická analýza v oblastech návaru, mezivrstvy, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu. Na vzorcích dále bylo provedeno měření tvrdosti HV10, kde dle předpisu Českých drah byla stanovena jako minimální povolená hodnota tvrdosti 420. Ve vybraných místech byly změřeny hodnoty mikrotvrdostí HV 0,1, zde byla stanovena maximální povolená hodnota obdobně jako u HV10 420.

Vzorky N1-N4 byly vyhodnoceny jako nevyhovující. Jako nepřípustné se staly u všech těchto návarů hodnoty tvrdosti. Dále se v některých návarech vyskytovaly nepřípustné vady typu (trhlin, pórů). Metalografické hodnocení provedené v oblastech kde byla naměřena vyšší tvrdost, odhalilo vznik nepřípustných základních struktur. Jako opatření proti zabránění vzniku nepřípustných struktur lze navrhnout tato opatření: zvýšení hodnoty vneseného tepla úpravou podmínek při navařování, např. snížením rychlosti navařování nebo zvýšením hodnot svařovacího proudu a napětí.

Vzorek N5 byl vyhodnocen jako vyhovující. Při měření tvrdostí nedošlo k překročení maximální dovolené hodnoty. Metalografické hodnocení neodhalilo vady ani nežádoucí základní struktury. V oblasti mezivrstvy došlo, k poklesu tvrdosti v kombinaci s nižším vneseným teplem do návaru nedošlo ke vzniku vad. Vzorek N5 splňuje požadavky na návary dle citovaných předpisů.

Výsledky diplomové práce jsou využívány při navařování kolejového svršku u tramvajové dopravy.



## Seznam použité literatury

- [1] LÖBL, Karel. *Navařování*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 132 s.
- [2] Navařování kovů. *Hadyna - International, spol. s r. o.* [online]. 2005 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Navařování\\_complete.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Navařování_complete.pdf).
- [3] Poprodejní služby – navařování a broušení. *Pražská strojírna a.s.* [online]. 2012 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.pstroj.cz/?stranka=poprodejniSluzby>.
- [4] PILOUS, Václav a Karel STRÁNSKÝ. *Strukturní stálost návarů a svarových spojů v energetickém strojírenství*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1989, 206 s. ISBN 80-200-0007-0.
- [5] HLAVATÝ, I., SIGMUND, M., SCHMIDOVÁ, E. *Vývojové trendy bainitických kolejnicových ocelí (Development trends in bainitic rail steels)*. In Perspektivní technologie a materiály pro technické aplikace (Konference Techmat 06) – Sborník přednášek: 2. 11. 2006, Svitavy, 1. vyd., Univerzita Pardubice, 2006, s. 143. ISBN 80-7194-902-7.
- [6] Drastík, F. *Železniční materiály*, Dopravní nakladatelství Praha, 1959, s. 388, D 598331.
- [7] HABRAKEN, L.J.-ECONOMOPOULOS, M. *Bainitic microstructure in low-carbon alloy steels and their mechanical properties, transformation and hardenability in steels, in: Climax Molybdenum, Ann Arbor, MI, USA, 1967, p.69-107.*
- [8] HRIVŇÁK, J. *Teória zvariteľnosti kovov a zlatin. vyd.* Bratislava, VEDA, 1989, s. 13-155.
- [9] KUČERA, J. *Teorie svařování*. vyd. Ostrava, VŠB, 1991, s. 220 – 258.
- [10] DAHL, B., MOGART, B., FLANDER, B. *Paschold : Repair of Rails on – side by welding*, firemní zpráva: The ESAB GROUP, Swetsaren No.2, 1995, s. 10-14.
- [11] HELLER, W.-SCHWEITZER, R. *Hardness microstructure and wear behavior of steel rails, 2nd Int. Heavy Haul Railway Conf., Colorado Springs, CO, 1982, p.282-286.*

- [12] ESAB. *Katalog přídatných svařovacích materiálů*. Vamberk 51754: ESAB VAMBERK, s.r.o., 2011.
- [13] ČD V 95/5 *Předpis českých drah pro svařování železničních kolejových vozidel*. Praha, 1999.
- [14] ČD S 3/5. *Předpis Českých drah pro svařování a navařování kolejového svršku*. Praha.
- [15] Svarinfo.cz. 2005. *Výpočet uhlíkového ekvivalentu Ce* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=cekv>.
- [16] KUČERA, Jan. *Teorie svařování*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 1987. 408 s. Fakulta strojní.
- [17] *Voestalpine AG* [online]. 2014. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.voestalpine.com/schienen/de/>.

## Seznam obrázků

Obr. 1.1 Navařování kolejnic automatem pod tavidlem (121) firmou Pražská strojírna a.s. [3].....	11
Obr. 1.2 Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti [16] .....	16
Obr. 1.3 ARA diagram oceli UIC 900A [17] .....	16
Obr. 1.4 ARA diagram oceli UIC 1100 [17] .....	17
Obr. 3.1 Makrostruktura návaru vzorku N1 .....	20
Obr. 3.2 Makrostruktura návaru vzorku N2 .....	21
Obr. 3.3 Makrostruktura návaru vzorku N3 .....	22
Obr. 3.4 Makrostruktura návaru vzorku N4 .....	23
Obr. 3.5 Makrostruktura návaru vzorku N5 .....	24
Obr. 4.1 Snímek dokumentující linii vtisků mikrotvrdosti HV 0,1 vzorku N5 .....	26
Obr. 4.2 Dokumentace vpichů měření mikrotvrdosti vzorku N4 HV 0,1 s maximální naměřenou hodnotou 770.....	30

## Seznam tabulek

Tab. 1.1 Oceli využívané pro výrobu kolejnic.....	12
Tab. 1.2 Chemické složení základních materiálů kolejnic .....	12
Tab. 1.3 Chemické složení přídavných materiálů pro navařování kolejnic.....	13
Tab. 1.4 Hodnota tepelné účinnosti $\eta$ pro technologie navařování .....	14
Tab. 1.5 Vypočtené hodnoty uhlíkového ekvivalentu pro danou vysokouhlikovou ocel....	15
Tab. 2.1 Chemické složení základního materiálu UIC 900 A .....	18
Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti základního materiálu UIC 900 A.....	18
Tab. 2.3 Chemické složení přídavných materiálů pro navařování .....	19
Tab. 2.4 Použité přídavné materiály pro dané vzorky .....	19
Tab. 3.1 Parametry navařování vzorku N1 .....	20
Tab. 3.2 Parametry navařování vzorku N2 .....	21
Tab. 3.3 Parametry navařování vzorku N3 .....	22
Tab. 3.4 Parametry navařování vzorku N4 .....	23
Tab. 3.5 Parametry navařování vzorku N5 .....	24

## **6 Přílohy**

## **Seznam příloh**

### **Příloha č. 1 Metalografické hodnocení návaru vzorků**

- Obr. P1.1 Snímek A makrostruktura TOO návaru N1.
- Obr. P1.2 Mikrostruktura návaru pásma přehřátí vzorku N1.
- Obr. P1.3 Detail návaru obrázku P1.2 vzorku N1.
- Obr. P1.4 Mikrostruktura návaru pásma přehřátí vzorku N1.
- Obr. P1.5 Mikrostruktura základního materiálu vzorku N1.
- Obr. P1.6 Snímek A makrostruktura průběhu trhliny vzorku N2.
- Obr. P1.7 Mikrostruktura návaru pásma přehřátí vzorku N2.
- Obr. P1.8 Detail obrázku P1.7 návaru vzorku N2.
- Obr. P1.9 Mikrostruktura oblasti návaru, mezivrstvy a základního materiálu vzorku N2.
- Obr. P1.10 Detail obrázku P1.9 mezivrstva a návar pásma přehřátí vzorku N2.
- Obr. P1.11 Mikrostruktura oblasti návaru a mezivrstvy vzorku N3.
- Obr. P1.12 Mikrostruktura oblasti mezivrstvy a základního materiálu vzorku N3.
- Obr. P1.13 Detail póru č. 1 vzorku N3.
- Obr. P1.14 Detail póru č. 2 vzorku N3.
- Obr. P1.15 Výskyt interkrystalické trhliny v mezivrstvě vzorku N3.
- Obr. P1.16 Mikrostruktura základních materiálů vzorků N1 – N5.
- Obr. P1.17 Mikrostruktura hranice natavení vzorku N4.
- Obr. P1.18 Detail obrázku P1.17 vzorku N4.
- Obr. P1.19 Trhlina vycházející z povrchu návaru vzorku N4.
- Obr. P1.20 Mikrostruktura oblasti natavení vzorku vzorků N4.
- Obr. P1.21 Mikrostruktura oblasti hranice natavení návaru a mezivrstvy vzorku N5.
- Obr. P1.22 Detail obrázku P1.21 oblast mezivrstvy a základní materiál vzorku N5.

### **Příloha č. 2 Vyhodnocení tvrdostí HV10 jednotlivých oblastí návarů**

- Obr. P2.1 Měření tvrdosti HV10 návaru vzorku N1.
- Obr. P2.2 Měření tvrdosti HV10 návaru vzorku N2.
- Obr. P2.3 Měření tvrdosti HV10 návaru vzorku N3.
- Obr. P2.4 Měření tvrdosti HV10 návaru vzorku N4.
- Obr. P2.5 Měření tvrdosti HV10 návaru vzorku N5.

### **Příloha č. 3 Vyhodnocení mikrotvrlosti HV 0,1 určených oblastí návarů a TOO**

Obr. P3.1 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 oblasti TOO vzorku N1.

Obr. P3.2 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 dolní oblasti mezivrstvy a základního materiálu vzorku N2.

Obr. P3.3 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 horní oblasti TOO vzorku N2.

Obr. P3.4 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 oblasti mezivrstvy a návaru vzorku N2.

Obr. P3.5 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 horní oblasti mezivrstvy a návaru vzorku N3.

Obr. P3.6 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 dolní oblasti mezivrstvy a návaru vzorku N3.

Obr. P3.7 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 oblasti mezivrstvy a základního materiálu vzorku N3.

Obr. P3.8 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 oblasti mezivrstvy a základního materiálu vzorku N3.

Obr. P3.9 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 dolní oblasti TOO vzorku N4.

Obr. P3.10 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 horní oblasti TOO vzorku N4.

Obr. P3.11 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 horní oblasti návaru mezivrstvy a základního materiálu vzorku N5.

Obr. P3.12 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 dolní oblasti TOO vzorku N5.

Obr. P3.13 Měření mikrotvrlosti HV 0,1 horní oblasti mezivrstvy a návaru vzorku N5.

### **Příloha č. 4 CD-ROM**