

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Technologické a mechanické vlastnosti náhrad svařovacích elektrod  
pro jadernou energetiku

Autor: **Petr HOVORKA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Kalous, CSc.**

Akademický rok 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HOVORKA**  
Osobní číslo: **S11B0132K**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Technologické a mechanické vlastnosti náhradních elektrod pro jadernou energetiku (JE)**  
Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

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

1. Charakteristika problému a důvody řešení
2. Výběr svařovacích elektrod pro JE
3. Technologické vlastnosti vybraných elektrod
4. Zjištění mechanických vlastností elektrod
5. Svaření kontrolních svarových spojů (KSS)
6. Diskuse dosažených výsledků
7. Závěr

Rozsah grafických prací: fotodokumentace, obrázky

Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- **Zvaranie a zvariteľnosť materiálov. STK Bratislava, 2009**
- **Časopisy: Zvaranie - svařování**
- **Firemní podklady: ČEZ Praha, ESAB Vamberk, Böhler-Kapbemberg**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jan Kalous, CSc.**

Výzkumné centrum kolejových vozidel

Konzultant bakalářské práce: **Jaromír Dvoran**

ČEZ, a. s. Praha

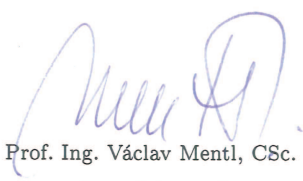
Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**



  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.

děkan

  
Prof. Ing. Václav Mentl, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: 23.5.2012



.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Hovorka	Jméno Petr		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B 2341 „Materiálové inženýrství“			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kalous, CSc.	Jméno Jan		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KMM			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>		Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Technologické a mechanické vlastnosti náhradních elektrod pro jadernou energetiku (JE)			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

**POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)**

<b>CELKEM</b>	56	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	48	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje popis technologických vlastností a popis zkoušení mechanických vlastností náhrad obalených elektrod pro svařování v jaderné energetice.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>svařování, metody, přídatné materiály, zkoušení vlastností, vyhodnocení</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Hovorka	Name Petr	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B 2341 „Materials Engineering“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kalous, CSc.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Technological and mechanical properties of compensations of welding electrodes for nuclear power industry.		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Material Science and Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	56	<b>TEXT PART</b>	48	<b>GRAPHICAL PART</b>	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Bachelor thesis contains a description of the technological features and a description of testing the mechanical properties of compensation coated electrodes for welding in nuclear power industry.
<b>KEY WORDS</b>	welding, methods, filler materials, testing of the properties, evaluation

## Obsah

1.	CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU A DŮVODY ŘEŠENÍ .....	3
1.1	Definice základních pojmů.....	4
1.2	Zkratky.....	5
1.3	Definice svařování .....	6
1.4	Metody svařování.....	6
1.4.1	Metoda č. 111.....	7
2.	VÝBĚR SVAŘOVACÍCH ELEKTROD PRO JE .....	12
2.1	Volba přídatných materiálů .....	12
2.2	Dodavatelé PM.....	13
2.3	Výběr náhrad přídatných materiálů .....	14
2.4	Technické charakteristiky původních elektrod .....	15
2.4.1	Obalená elektroda PT 30 .....	15
2.4.2	Náhrada obalené elektrody PT 30.....	16
2.4.3	Obalená elektroda EA 395/9 .....	16
2.4.4	Náhrada obalené elektrody EA 395/9.....	17
2.5	Program č. 1 - elektroda FOX EV 85 .....	18
2.5.1	Všeobecné požadavky .....	18
2.5.2	Nedestruktivní zkoušky .....	18
2.5.3	Zkoušené vlastnosti svarových kovů .....	18
2.5.4	Závěrečné vyhodnocení.....	19
2.6	Program č. 2 - elektroda FOX NIBAS 70/20.....	19
2.6.1	Všeobecné požadavky .....	19
2.6.2	Nedestruktivní zkoušky .....	20
2.6.3	Zkoušené vlastnosti svarových kovů .....	20
2.6.4	Závěrečné vyhodnocení.....	21
3.	SWAŘENÍ KONTROLNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ (KSS).....	22
3.1	KSS - elektroda FOX EV 85 .....	22
3.1.1	Příprava.....	22
3.1.2	Svařování.....	23
3.1.3	Tepelné zpracování .....	24
3.2	KSS - elektroda FOX NIBAS 70/20.....	26
3.2.1	Příprava.....	26
3.2.2	Svařování.....	27
3.2.3	Tepelné zpracování .....	29
4.	TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH ELEKTROD .....	31
4.1	Svařovací elektrody .....	31
4.1.1	Neobalené elektrody .....	31
4.1.2	Plněné elektrody.....	31
4.1.3	Obalené elektrody .....	31
4.1.4	Úkoly elektrodového obalu a jeho složení .....	31
4.1.5	Požadavky na obalené elektrody.....	32
4.1.6	Druhy elektrodových obalů.....	32
4.1.7	Vysoušení.....	33
4.2	Elektroda FOX EV 85 .....	34
4.3	Elektroda FOX Nibas 70/20.....	35
5.	ZJIŠTĚNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ELEKTROD.....	36
5.1	Zkoušky náhrad přídatných materiálů .....	36

5.2	Příprava zkušebních tyčí a jejich rozměry .....	37
5.3	Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - zkoušení.....	39
5.4	Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - mechanické vlastnosti.....	41
5.5	Elektroda FOX NIBAS 70/20 $\varnothing$ 2,5 mm - zkoušení.....	43
5.6	Elektroda FOX NIBAS 70/20 $\varnothing$ 2,5 mm - mechanické vlastnosti.....	45
6.	DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ .....	49
6.1	Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - výsledky zkoušek .....	49
6.1.1	Nedestruktivní zkoušky .....	49
6.1.2	Chemické složení svarových kovů .....	49
6.1.3	Mechanické vlastnosti svarových kovů.....	50
6.2	Elektroda FOX NIBAS 70/20 $\varnothing$ 2,5 mm - výsledky zkoušek.....	50
6.2.1	Nedestruktivní zkoušky .....	50
6.2.2	Chemické složení svarových kovů .....	51
6.2.3	Mechanické vlastnosti svarových kovů.....	51
6.2.4	Stanovení odolnosti proti vzniku teplotních trhlin a odolnosti proti MKK.....	52
7.	ZÁVĚR.....	53
	SEZNAM LITERATURY.....	54



# 1. CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU A DŮVODY ŘEŠENÍ

Tato bakalářská práce se zabývá současnou problematikou nedostatku původních přídatných materiálů pro svařování v jaderné energetice. Hlavní náplní je postup při výběru obalených elektrod jako náhrad za původní přídatné materiály pro svařování a způsoby ověřování jejich vlastností.

Svařování v jaderné energetice řeší problém výběru vhodných náhradních přídatných materiálů. Některé přídatné materiály předepsané v původní technické dokumentaci pro svařování jaderných elektráren typu VVER 440 a 1000 MW jsou nedostupné a jejich staré skladové zásoby již nelze z rozmanitých důvodů použít. Pro zajištění údržby, oprav a rekonstrukcí komponent jaderných elektráren je ovšem nezbytné znát vhodné typy přídatných materiálů a prověřit jejich vlastnosti.

Cílem tohoto projektu je vybrat ze stávající nabídky některých renomovaných výrobců vhodné přídatné materiály a zkouškami prokázat jejich vlastnosti.

V praxi je používán jako prováděcí předpis pro svařování zařízení a potrubí na jaderných elektrárnách typu VVER v České republice technický kód, dokument Normativně technická dokumentace Asociace strojních inženýrů Sekce I [1]. Tento dokument stanoví minimální technické požadavky na svařování ve výrobě, montáži, provozu, údržbě, opravách a rekonstrukcích jaderných zařízení. Byl zpracován týmem odborníků a to jak na základě využití dosavadních zkušeností z praxe v tuzemsku a v zemích EU, tak s využitím nových vědeckých a technických poznatků a nových EN a EN ISO norem. Dokument je doporučen SÚJB k používání v jaderné energetice jako alternativa k původním dokumentům OP 1513-72 [2] a PK 1514-72 [3]. Při splnění požadavků tohoto kódu se má za to, že byly splněny požadavky technické, jaderné a radiační bezpečnosti.

Pro svařování JZ je možné použít původní přídatné materiály uvedené v příloze č. 2 dokumentu [1], u kterých byly splněny skladovací podmínky nebo které se dosud vyrábějí v Ruské federaci.

Pro použití náhrad původních PM vždy bylo a je nutné splnit především podmínky a požadavky předepsané legislativou České republiky [4], [5], [6], [7]. Reálný proces zkoušení a schvalování je prováděn za účasti autorizované osoby. Pro schválení přídatných materiálů (PM) jsou vystavovány „Schvalovací listy“ reprezentující schválení typu PM. Ve schvalovacích listech jsou uvedeny podmínky pro aplikaci daného PM, požadované chemické složení svarového kovu, jeho minimální zaručované mechanické vlastnosti a další požadavky jako například obsah d feritu ve svarovém kovu.

## 1.1 Definice základních pojmů

**Původní přídatný svařovací materiál** - materiál předepsaný původním projektem nebo původní výrobní dokumentací (technickými podmínkami, výrobními výkresy, technologickými postupy svařování), v souladu s původní dokumentací použitý při výrobě a montáži jaderných zařízení, které bylo uvedeno do provozu před platností vyhlášky [6]. Tento materiál je uvedený v seznamu přípustných materiálů pro použití na jaderných zařízeních [1].

**Náhrada přídatného svařovacího materiálu** - materiál, který vyhovuje požadavkům na základní charakteristiky původních přídatných materiálů, mimo přesného dodržení chemického složení, které jsou potvrzeny osvědčovacími zkouškami a jsou vhodné pro určitý (definovaný) účel použití. Avšak vhodnost materiálu pro konkrétní účel použití prokazuje vždy výrobce v rámci prováděné analýzy nebezpečí při zpracování technické dokumentace na konkrétní vybrané zařízení speciálně navrhované. V seznamu přípustných materiálů pro použití na jaderných zařízeních jsou uvedeny pouze ty náhrady přídatného svařovacího materiálu, u kterých již byly provedeny a potvrzeny osvědčovací zkoušky.

### **Nový přídatný svařovací materiál**

Přídatný materiál odlišné značky a typu, který má v porovnání s původním přídatným materiálem odlišné chemické složení a odlišné mechanické vlastnosti a který nelze zařadit jako náhradu za původní přídatný materiál. Použití nových materiálů je podmíněno vyhovujícími atestačními zkouškami.

### **Přípustný přídatný materiál**

Přídatný materiál uvedený v Příloze č. 1 a č. 3 [1]. Přípustné přídatné materiály zahrnují původní přídatné materiály, náhrady kvalifikované osvědčovacími zkouškami a nové přídatné materiály kvalifikované atestačními zkouškami. Vždy však musí výrobce u vybraných zařízení speciálně navrhovaných doložit formou analýzy nebezpečí vhodnost jím navrhovaného materiálu pro konkrétní navrhované vybrané zařízení speciálně navrhované za stanovených podmínek jeho provozu (viz čl. 1.6 a 1.7 přílohy č. 1 vyhlášky [6]). Uznání takto prokázané vhodnosti přídatného materiálu je v kompetenci autorizované osoby a je platné pouze pro konkrétní vybrané zařízení speciálně navrhované, u něhož byla v rámci zpracování technické dokumentace zpracována analýza nebezpečí.

**Jaderná bezpečnost** - stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod.

**Analýza nebezpečí** - postup, ve kterém se provádí identifikace nežádoucích událostí, které vedou k realizaci individuálního nebezpečí; analýza mechanismu, kterým se tyto nežádoucí události mohou vyskytnout; odhad jejich pravděpodobnosti a odhad rozsahu jakýchkoliv škodlivých jevů a účinků.

## 1.2 Zkratky

- AO** - autorizovaná osoba
- ASME** - American Society of Mechanical Engineers - Americká společnost strojních inženýrů
- GOST** - původně z ruského ГОСТ (государственный стандарт – „státní standard“), je soubor norem obhospodařovaných nadnárodní Euroasijskou radou pro normalizaci, metrologii a certifikaci (EASC), což je standardizační organizace fungující v rámci Společenství nezávislých států; původně se jednalo o normy Sovětského svazu
- JZ** - jaderná energetická zařízení
- JE** - jaderné elektrárny
- PM** - přídatný svařovací materiál
- VVER** - vodo-vodní energetický reaktor  
(водо-водяной энергетический реактор, v angličtině značený **WWER**)
- ZM** - základní materiál
- TZ** - tepelné zpracování po svaření
- MKK** - mezikrystalová koroze
- OTT** - odolnost proti vzniku trhlin za tepla
- KTA** - Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (Bezpečnostně technická pravidla pro jadernou energetiku KTA, Německo)
- SÚJB** - Státní úřad jaderné bezpečnosti
- ČÚBP** - Český úřad bezpečnosti práce
- TÜV** - Technischer Überwachungs-Verein - Technické kontrolní sdružení - německé sdružení organizací, které se zabývají testováním výrobků všeho druhu
- W. Nr.** - Werkstoff Number (číslo materiálu)

### 1.3 Definice svařování

Svařování je v technické literatuře definováno mnoha různými způsoby. Pro účely této práce byl použit zdroj [8]. Svařováním kovů a jejich slitin vznikají nerozebíratelná spojení pomocí soustředěného tepla nebo tlaku, případně jejich kombinací. Svařování probíhá buď s použitím, nebo bez použití přídavného materiálu, stejného, či podobného chemického složení jako spojované materiály. Při výběru přídavných materiálů je nutné zohlednit, aby přídavný materiál měl stejné nebo lepší mechanické vlastnosti jako spojované materiály. Spojení nastane působením meziatomových sil, vazeb na teplem nebo tlakem aktivovaných svarových plochách, které jsou v oblasti svařování v plastickém nebo roztaveném stavu.

Pevné látky mohou mít různé typy vazeb odpovídající různým typům rozložení elektronů a iontů. Ionty v atomu u různých typů vazeb jsou uspořádány tak, aby potenciální energie krystalu byla co nejmenší. Kovové krystaly (Cu, Fe, Ag, Mo atd..) vznikají v důsledku vazby, která je označována jako kovová vazba. Základní představou je existence tzv. mraku valenčních (volných) elektronů, které mohou přecházet volně od atomu k atomu. Ke kovové vazbě dochází tehdy, je-li přitahování mezi kovovými ionty a elektronovým mrakem vyšší nežli vzájemné odpuzování elektronů v tomto mraku. Ionty jsou uspořádány podle přesně definovaného rozložení, podle něhož v pevných látkách existují mezi ionty síly přitažlivé a síly odpuzivé, tzv. síly s krátkým dosahem.

### 1.4 Metody svařování

- číselné označení metod svařování se provádí podle normy ČSN EN ISO 4063 [14] a je uvedeno v tabulce 1.

Číslo metody	Evropská zkratka (E)	Americká zkratka (A)	Celý název
111	MMA	SMAW	E: Manual Metal Arc Welding A: Shielded Metal Arc Welding
114	FCAW	FCAW	E: Flux-cored wire metal arc welding without gas shield A: Flux-cored arc welding
12 (121)	SAW	SAW	E: Submerged Arc Welding A: Submerged Arc Welding
131	MIG	GMAW	E: Metal Inert Gas Welding A: Gas Metal Arc Welding
135	MAG	GMAW	E: Metal Active Gas Welding A: Gas Metal Arc Welding
136	MAG	FCAW	E: Flux-cored wire metal arc welding with activ gas shield A: Flux-cored arc welding
137	FCAG	FCAW-S	E: Flux-cored wire metal arc welding with inert gas shield A: Flux-cored arc welding
141	TIG (WIG)	GTAW	E: Tungsten (Wolfram) Inert Gas Welding A: Gas Tungsten Arc Welding
311	GW	OFW	E: Gas Welding A: Oxy Fuel Gas Welding

Tabulka 1. Metody svařování

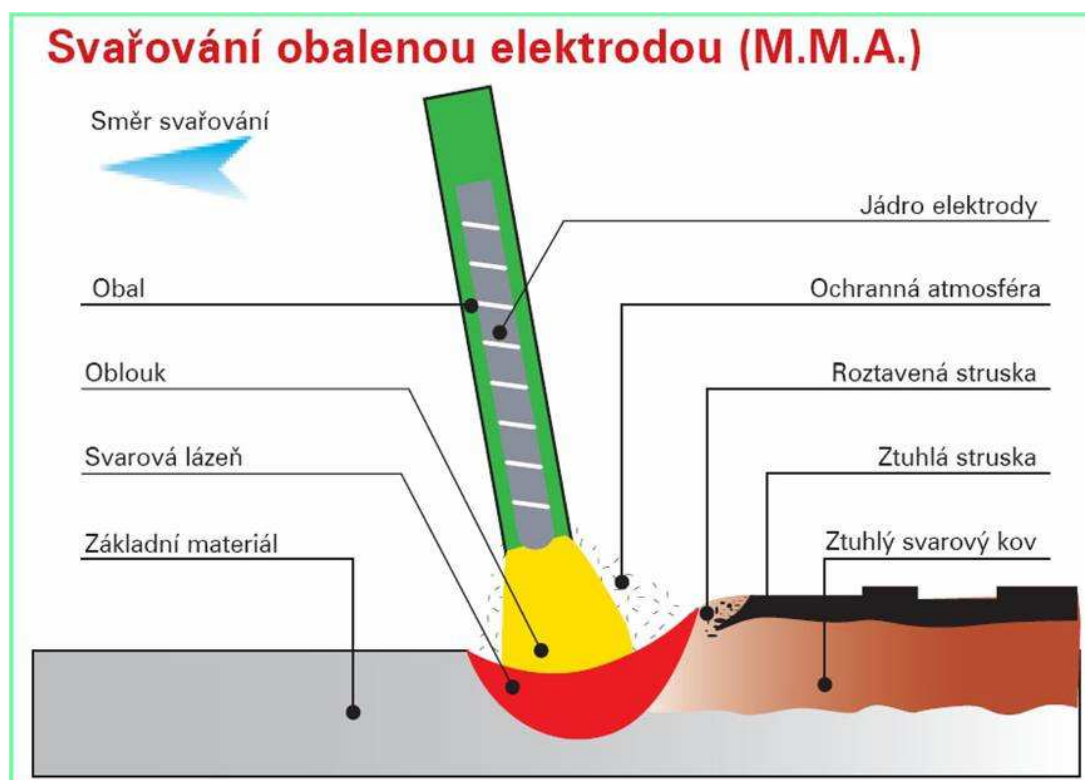
### Uvedené číselné označení metod znamená česky:

- 111 – Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (ROS)
- 114 – Obloukové svařování plněnou elektrodou (trubičkovým drátem) bez ochranného plynu
- 12 (121) - (Automatické) svařování pod tavidlem (APT)
- 131 – Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
- 135 – Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
- 136 – Obloukové svařování plněnou elektrodou (trubičkovým drátem) v aktivním plynu
- 137 - Obloukové svařování plněnou elektrodou (trubičkovým drátem) v inertním plynu
- 141 - Obloukové svařování netavící se (wolframovou) elektrodou v inertním plynu TIG (WIG)
- 311 - Tavné svařování kyslíko-acetylenovým plamenem

#### 1.4.1 Metoda č. 111

Dle ČSN EN ISO 4063 [14]: Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (Manual metal arc welding, metal arc welding with covered electrode). Jedná se o obloukové svařování, které používá obalenou drátovou elektrodu. Základní charakteristické rysy této metody - možnost svařovat v podstatě všechny kovové materiály a to ve všech svařovacích polohách. Proto patřila po dlouhá desetiletí mezi nejzákladnější metody. Dnes její podíl na trhu klesá. Dříve používané české a zahraniční označení: ROS (ČR), MMAW (USA) [9].

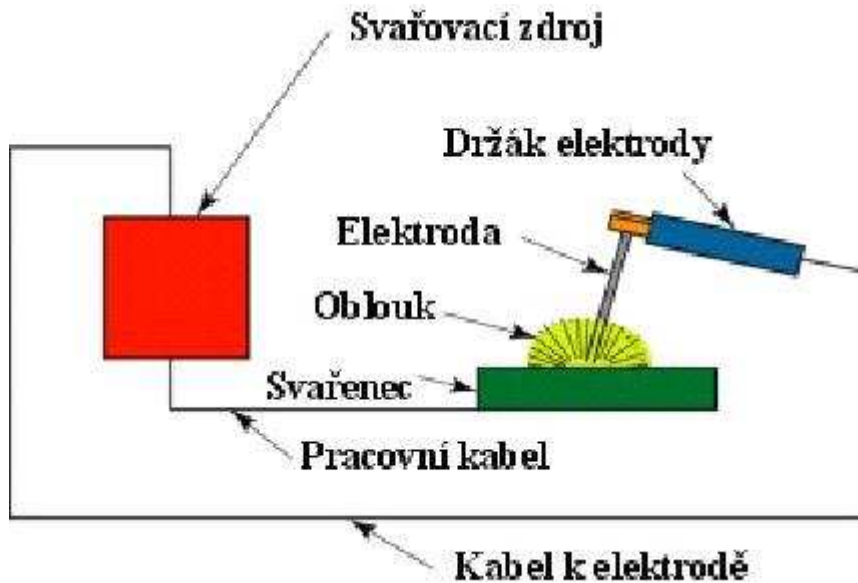
Pro následující teoretické informace článku č. 1.4.1 byl použit zdroj [10].



**Obrázek 1. Svařování obalebou elektrodou**

Jedná se o základní metodu svařování. Její užití v dnešní době klesá. Tímto způsobem se dají svařovat různé materiály.

Elektrický oblouk, jak je patrné z obrázku 1, vzniká mezi koncem obalené kovové elektrody a svařencem, kdy roztavené kapky kovu z elektrody jsou přenášeny obloukem do svarové lázně a jsou chráněny plyny, které vznikají při tepelném rozkladu obalu, tvořeného tavidly. Roztavená struska se dostává na povrch svarové lázně, kde během tuhnutí chrání svarový kov před přístupem atmosféry. Po svaření každé housenky je nutno strusku odstranit. Princip zapojení elektrického obvodu je uvedený na obrázku 2.



**Obrázek 2. Schéma svařování metodou 111**

Průměr svařovací elektrody je určený technologickým postupem případně údaji na výkrese. Volí se dle tloušťky základního materiálu, tvaru a rozměru svaru, polohy svařování. Do kořene se volí elektroda o průměru 2 nebo 2,5 mm, lze také užít elektrody průměru 3,15 (repektive 3,2) mm. Obal elektrody je také dán technologickým postupem, který vychází z polohy svařování, požadovaných záruk svarového kovu, s možností dokonalého svařování a z požadavku kvality provedení kořene a krycí vrstvy.

Délka oblouku závisí na druhu obalu elektrody a poloze při svařování. Optimální délka oblouku je cca 1,5 násobek průměru elektrody.

- **Krátký oblouk** – je v délce rovnající se průměru elektrody a menší. Vzniká menší rozstřík, propal prvků a tepelné ztráty, dosahují se větší hloubky závaru a pravidelný povrch svaru.
- **Dlouhý oblouk** – je v délce větší než 1,5 násobek průměru elektrody. Vzniká větší rozstřík a propal prvků. Hloubka závaru je menší a housenka je širší, plochá a nepravidelná.

Svařovací proud udává výrobce elektrod u jednotlivých průměrů a druhů obalů elektrod. Rozsah svařovacího proudu má dolní a horní hranici, tedy minimální a maximální proud. Optimální svařovací proud je podmíněn: druhem obalu, polohou svařování, citlivostí regulátoru a zkušenostmi svářeče.

- **Malý proud** – zmenšuje hloubku závaru, oblouk hoří neklidně, housenka je vysoká, často nelepená. Dochází takto ke studeným spojům.
- **Velký proud** – způsobuje značné přehřívání elektrody. Dochází k vypalování prvků, klesají mechanické hodnoty svarového kovu a tvoří se vruby. Housenka je nízká, kresba je šípovitá, vznikají plynové dutiny a větší deformace svarového spoje.

Rychlost svařování je udávána délkou svarové housenky vytvořené za jednotku času, tedy v metrech za minutu (m/min). Volba svařování závisí na požadavku kvality svarového spoje, zručnosti svářeče, druhu a průměru elektrody a poloze svařování:

- **Malá rychlost** – vytvoří housenku převýšenou, přehřívání základního materiálu, velké napětí a velké deformace, možnost předbíhání strusky a tím vznik struskových vměstků.
- **Velká rychlost** – způsobí housenku úzkou, natavení základního materiálu je malé. Mohou vznikat studené spoje a tavná lázeň rychle tuhne. Velká rychlost svařování vede i k vzniku plynových dutin.

Technika pohybu elektrody zahrnuje: zapalování oblouku, sklon elektrody, příčný pohyb elektrody a zhasínání oblouku.

- **Zapalování elektrického oblouku** – spolehlivost startu elektrického oblouku je operativní vlastnost elektrod a přímo souvisí se svařovacími vlastnostmi zdrojů. Čistotou konce elektrody a základního materiálu je podmíněn start, který se provádí dotekem nebo škrtnutím volného konce elektrody o základní materiál.
- **Sklon elektrody** – závisí na poloze svařování a druhu elektrody. Sklon by měl být asi 20° až 30° od kolmice s požadavkem, aby struska nepředběhla svarovou lázeň. Větší odklon prodlužuje kráter, větší rozstřík a nepravidelnost. Menší odklon způsobuje předbíhání strusky a ovlivňuje hloubku závaru.

- **Příčný pohyb elektrody** ve směru osy svaru lze rozdělit na:

Pohyb přímočarý – bez kývání do stran. Zvyšuje rychlost svařování, snižuje tepelný příkon, zmenšuje průřez housenky. Vzniká nebezpečí studených spojů a menší hloubka závaru.

Pohyb s příčným kýváním – zaručuje dokonalé natavení svarových ploch. Vyplňuje stykovou mezeru svarového spoje v celém průřezu. Příčný pohyb vyžaduje kratší zastavení na svarové ploše, poněkud rychlejší pohyb mezi krajními body. Šířka takto prováděné housenky je až několikanásobně větší než průměr elektrody.

- **Zhasínání elektrody** - provádí se rychlým zvětšením vzdálenosti (tzv. odtržením) konce elektrody v její ose od svařovaného materiálu, pozvolným výběhem zpět nebo do stran, případně snižováním proudu na nulu pomocí upraveného regulátoru svařovacího proudu.

Teplo potřebné ke vzniku taveniny se získává z elektrického oblouku, k jehož zapálení je nutný zkrat základního a přídavného materiálu. Ohřev, tavení elektrody a základního materiálu způsobuje teplo v oblouku (5 000 až 6 000°C). Elektronky dopadají na anodu (2 600°C) a kladné ionty, dopadají na katodu (2 400°C). Zapojení elektrody na záporný pól a svařovaný materiál na kladný pól nazýváme přímá polarita. Opačné zapojení se nazývá nepřímá nebo obrácená polarita.

Při svařování elektrickým obloukem s obalenou elektrodou dochází k odtavování konce elektrody a odtavený konec elektrody se zúčastňuje tvorby svarové lázně jako přídavný materiál.

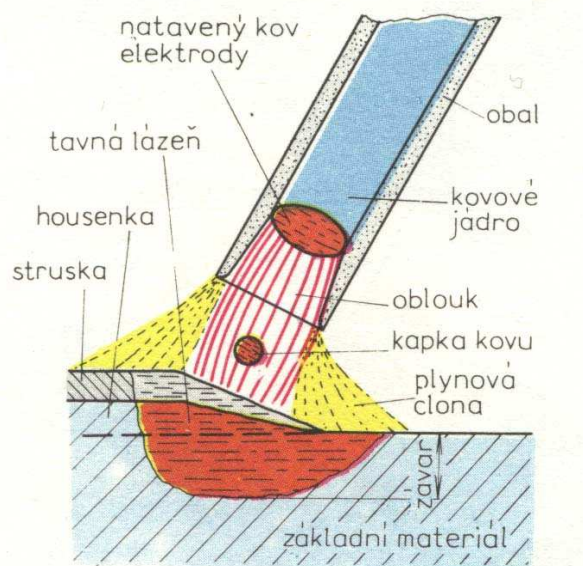
### Funkce obalu elektrod:

- funkce plynotvorná (při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí druh ochranné atmosféry a brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celulosa, tepelný rozklad  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CO}_2$  a  $\text{CaO}$ ),

- funkce ionizační (slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli alkalických kovů K a Na),

- funkce metalurgická – rafinace (snížení P a S), desoxidace (snížení O<sub>2</sub>) a legování (především prvků náchylných k propalu – Cr, Mo, Ti atd.)

**Přenos svarového kovu** z elektrody do tavné lázně při svařování je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3. Přenos kovu při svařování metodou 111



Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody. Tyto se skládají z jádra a z obalu elektrody.

Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6 / 2,0 / 2,5 / 3,2 (3,15) / 4,0 / 5,0 a 6,0 mm.

Podle složení obalu rozdělujeme svařovací elektrody na elektrody:

- stabilizační,	
- rutilové	označení R,
- rutil-celulózové	označení RC,
- rutil-kyselé	označení RA,
- rutil- bazické	označení RB,
- tlustostěnné rutilové	označení RR,
- kyselé	označení A,
- bazické	označení B,
- celulózové	označení C

Svařovací proud může svářeč nastavit podle údajů, které uvádějí výrobci elektrod ve svých katalozích. Nemá-li k dispozici údaje o velikosti svařovacího proudu, může použít následujících empirických údajů:

- pro elektrody s kyselým a rutilovým obalem činí svařovací proud  $I(A)$

$$I = (40 \text{ až } 55) \cdot d$$

- pro elektrody s bazickým obalem činí svařovací proud  $I(A)$

$$I = (35 \text{ až } 50) \cdot d$$

kde  $d$  je průměr jádra elektrody.

## 2. VÝBĚR SVAŘOVACÍCH ELEKTROD PRO JE

### 2.1 *Volba přídatných materiálů*

a) Pro výrobu komponentů JE typu VVER je doporučeno přednostně používat svařovací materiály, které předepisuje původní projektová a technická dokumentace. Tyto původní přídatné materiály a jejich přiřazení k základním materiálům je uvedeno v [1]. Postup pro uvolnění těchto přídatných materiálů do výroby, pro montáž nebo pro provádění oprav popisuje rovněž [1].

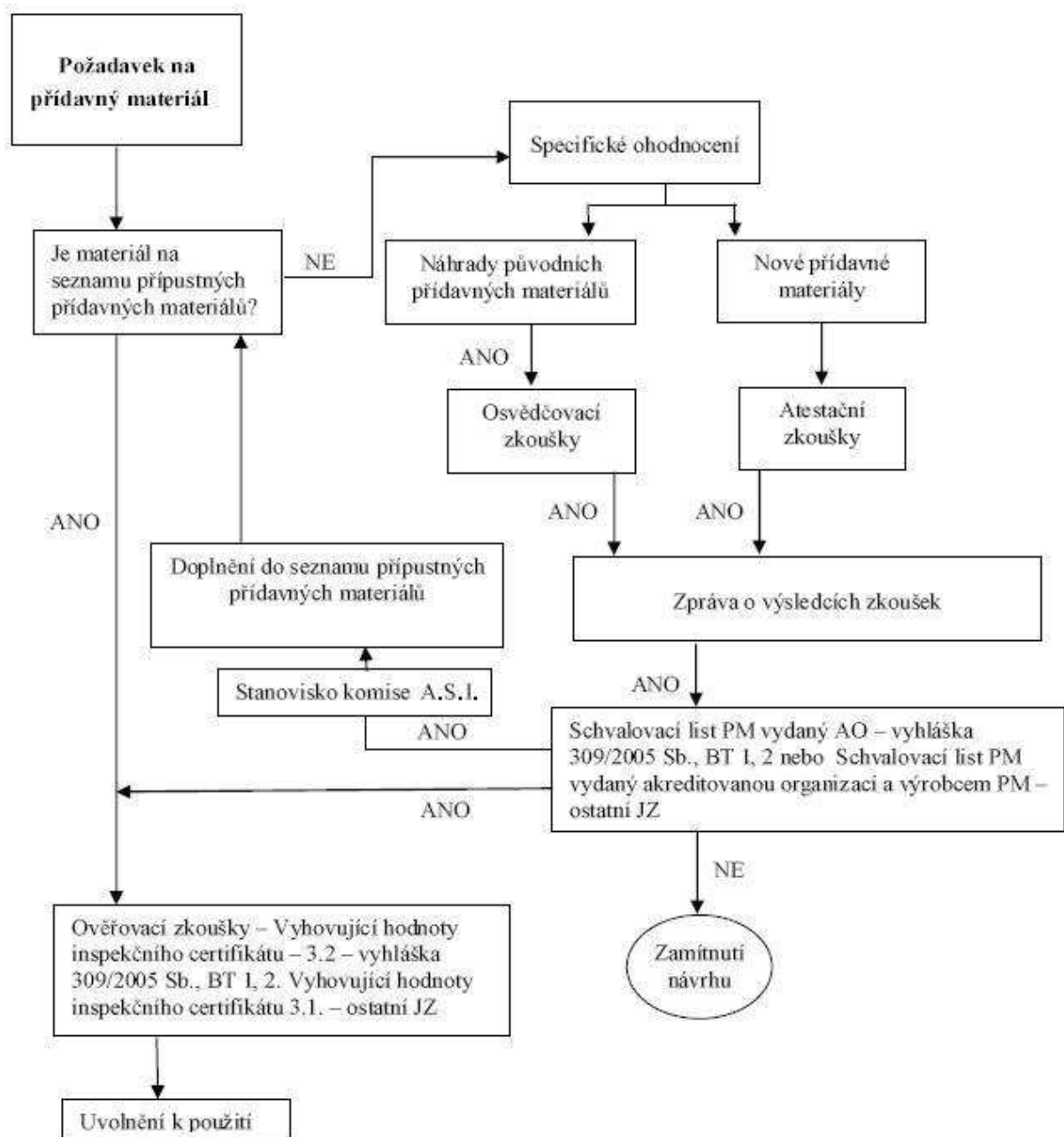
b) Pro výrobu, montáž, opravy JZ a výrobu náhradních dílů na výměnu je možné používat „náhrady“ přídatných svařovacích materiálů za předpokladu dodržení všech podmínek uvedených v [1].

c) Pokud přídatné materiály nesplňují podmínky bodu a) ani b) uvedených výše je nutno tyto považovat za „nové“ a musí se postupovat dle [1], kapitoly Náhrady původních přídatných materiálů, Nové přídatné materiály.

d) Schéma výběru přídatných materiálů pro svařování, opravy, montáž a výrobu náhradních dílů komponentů JZ typu VVER je uvedeno na vývojovém diagramu (obrázek 4).

e) Specifické ohodnocení náhrad PM a nových PM se provádí formou osvědčovacích a atestačních zkoušek.

f) Dokument [1] nespécifikuje požadavky na osvědčovací nebo atestační zkoušky přídatných materiálů určených ke svařování nebo opravám JZ s přímým radiačním zatížením o fluenci neutronů v integrální dávce  $F > 10^{22} \text{ n.m}^{-2} \text{ s}$  energií  $> 0,5 \text{ MeV}$  a namáhaných v oblasti tečení za zvýšených teplot nebo na která působí jiné faktory degradace materiálu. V případě nutnosti musí programy a metodiku osvědčovacích a atestačních zkoušek přídatných materiálů pro tyto oblasti namáhání stanovit individuálně výrobce komponentů JE. Tyto programy schvaluje u přídatných materiálů pro zařízení definovaná ve smyslu vyhlášky [6] AO. Pro zařízení definovaná ve smyslu vyhlášky [7] a pro ostatní zařízení kvalifikovaný inspektor držitele povolení k provozu jaderného zařízení.



Obrázek 4. Vývojový diagram

Ve vývojovém diagramu (obrázek 4) nejsou znázorněny vazby při nevyhovujících výsledcích zkoušek a schvalování. V tomto případě je nutno postupovat proti směru šipek a řešení, využít přípustná řešení popsaná v textové části. Schéma rovněž nezaznamenává možnost použití skladových zásob původních přídavných materiálů dodaných dle původních předpisů.

## 2.2 Dodavatelé PM

Při volbě materiálů byly stanoveny PM vyráběné tradičními evropskými výrobci, kteří splňují uvedená kritéria:

- a) certifikace výrobce mezinárodně uznávanou institucí pro výrobu PM pro JZ v souladu s požadavky orgánu státního odborného dozoru v dané zemi, a

b) výrobci, kteří byli již v minulosti osvědčenými dodavateli kvalitních PM pro energetická zařízení v ČR  
Seznam výrobců, včetně společností, které je zastupují v ČR je uveden v tabulce 2.

	<b>Značka výrobce PM:</b>	<b>zástupce v ČR:</b>
1.	<b>BÖHLER, THYSSEN, UTP (Böhler-Uddeholm AG)</b>	<b>Böhler Uddeholm CZ s.r.o.</b> U Silnice 949 161 00 Praha 6 Tel: +420 233 029 800 Fax: +420 233 029 819 IČO: 25089561 DIČ: CZ25089561 <a href="http://www.bohler-uddeholm.cz">www.bohler-uddeholm.cz</a>
2.	<b>ESAB (ŽAZ VAMBERK) (ESAB Holdings Ltd)</b>	<b>ESAB VAMBERK, s.r.o.</b> Smetanovo nábřeží 334 517 54 Vamberk IČO: 25268023 DIČ: CZ25268023 <a href="http://www.esab.cz">www.esab.cz</a>
3.	<b>OERLIKON (Air Liquide Gruppe)</b>	<b>OMNITECH spol. s r.o.</b> PALACKÉHO 28 664 17 TETČICE tel.: 00420 546 413 097-8 fax: 00420 546 411 119 IČO: 43389457 <a href="http://www.omnitechweld.cz">www.omnitechweld.cz</a>

Tabulka 2. Seznam výrobců, včetně společností, které je zastupují v ČR

### 2.3 Výběr náhrad přídavných materiálů

Při výběru náhrad přídavných materiálů je nutné přihlídnout k následujícím bodům:

- aby příslušné nebo blízké použití daného přídavného materiálu ke svařování JZ bylo již v zemi výrobce přídavného materiálu certifikováno mezinárodně uznávanými institucemi (ASME, TÜV aj.) v souladu s požadavky ASME II/C [15], KTA 1408.1 [16] aj.,
- aby současně vyhovovaly požadavkům na základní charakteristiky původních přídavných materiálů, mimo přesného dodržení chemického složení,
- aby výrobce přídavného materiálu měl certifikovaný systém managementu jakosti podle EN ISO 9001:2008 (ČSN EN ISO 9001:2009) [17].

Bylo nutno stanovit:

- náhradní PM určené k výrobě, montáži, opravám, výměně a rekonstrukcím zařízení jaderných elektráren v České republice s bloky VVER 440 MW a VVER 1000 MW za referenční PM

- obecné podmínky, postupy a metodiku zkoušek PM pro svařování na JE

Byla provedena analýza (viz tabulka 3) dosud používaných PM pro svařování na JE. Dále byl proveden výběr náhrad (včetně stanovení technických charakteristik, výrobce a atestačních pravidel nových přídatných a svařovacích materiálů) za PM pro svařování zařízení JE, jejichž výrobu ESAB Vamberk ukončil.

Původní PM	Schválené PM			Plán schvalování			
	Oerlikon	Böhler	ESAB	Oerlikon	Böhler	ESAB	Schválit AO
UONI 13/45 A EB 121 JE	EB 121 JE		OK 48.00		FOX EV 47		
UONI 13/55 EB 123 JE	EB 123 JE		OK 48.00		FOX EV 50		
PT 30			OK 75.75	Tenacito 65 R PT 30	FOX EV 85		
EA 400/10 T (TA)		FOX EAS- 4M	OK 63.35 OK 63.25N				
ZIO 8					FOX Nibas 70/20		
EA 395/9					FOX Nibas 70/20		
EA 898/21B/LC		FOX SAS-2	OK 61.85				
Sv07Ch25N13	Inertfil 2412 nC (Inertrod 309L)				CN 23/12-IG	OK Tigrod 16.53	
Sv08Ch19N10G2B	Inertfil 199Nb (Inertrod 347Si)				SAS 2-IG (Si)	OK Tigrod 16.11	
Sv08GS	OE-SG 2 (Carborod 1)		OK Tigrod 12.60		EMK 6		
Sv04Ch19N11M3	Inertfil 19123nC (Inertrod316LSi)		OK Tigrod 16.30 (OKTigrod316L)		EAS 4M- IG(Si)		
Sv10Ch16N25AM6	Nifil 625 (Nirod 625)				Nibas 625-IG	OK Tigrod 19.82 OK Tigrod 19.85	
Sv08Ch19N10M3B	Inertfil 19123Nb Inertrod 318 Si)						
Nitig 99							Nitig 99

Tabulka 3. Náhrady přídatných materiálů již schválené a nově zařazené do programu

## 2.4 Technické charakteristiky původních elektrod

### 2.4.1 Obalená elektroda PT 30

V tabulce 4 je uvedeno směrné chemické složení elektrody PT 30. Mechanické vlastnosti svarového kovu, uvedené v tabulce 5, jsou vztaženy na tepelné zpracování svarového kovu TZ1 a TZ2. Údaje jsou vypsána z materiálového listu elektrody [18].

Základní typy ocelí, pro které je elektroda PT 30 určena, uvádí tabulka 6.

Značka elektrody	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N <sub>2</sub>	Maximálně				δ ferit
										S	P	Co	Cu	
PT 30	0,04 ÷ 0,12	0,17 ÷ 0,37	0,70 ÷ 1,50	-	1,30 ÷ 1,80	0,45 ÷ 0,75	-	-	-	0,020	0,025	0,025	-	-

Tabulka 4. Elektroda PT 30 - chemické složení svarového kovu – v hmotnostních %

Značka elektrody	TZ	T <sub>s</sub> [°C]	R <sub>m</sub> min. [MPa]	R <sub>p0,2</sub> , *R <sub>e</sub> min. [MPa]	A <sub>5</sub> min. [%]	Z min. [%]	KCV min. [J.cm <sup>-2</sup> ]	KCU 2 min. [J.cm <sup>-2</sup> ]	T <sub>k0</sub> ≤ [°C]	MKK	OTT
PT 30	TZ1	+20	539	*343	16	55	49	78	- 10	-	-
	i TZ2	+350	490	294	14	50	-	-			
TZ1: 620°C/15 + 650°C/30h TZ2: 650°C/8h											

Tabulka 5. Elektroda PT 30 - mechanické vlastnosti svarového kovu

Elektroda je určena pro svařování ocelí 10GN2MFA a 10GN2MFAL mezi sebou a s ocelmi 15Ch2NMFA, 15Ch2NMFA-A, 15Ch3NMFA.

Značka materiálu podle GOST	Sortiment	Materiál podle norem ČSN, DIN, EN a ASTM, (VN)*
10GN2MFA 10GN2MFAL	Výkovky, plechy tl. do 300 mm Odlitky	16 445 (VN 41 6445: 1983)
15Ch2NMFA	Výkovky, plechy, výlisky	---
15Ch3NMFA	Výkovky, plechy	---

Tabulka 6. Elektroda PT 30 - použití

10GN2MFA - bainitická nízkouhlíkatá nízkolegovaná ocel

10GN2MFAL - varianta pro odlitky

15Ch2NMFA, 15Ch2NMFA-A - vysokopevnostní konstrukční perlitické oceli polotovarů určených pro výrobu prstenců aktivní zóny tělesa reaktoru, legovaná Cr -Mo-V

15Ch3NMFA - nízkolegovaná konstrukční ocel perlitické třídy s garantovanou minimální mezí pevnosti nad 500 MPa

#### 2.4.2 Náhrada obalené elektrody PT 30

Jako náhrada původního přídavného materiálu, obalené elektrody PT 30, byla po konzultaci s výrobcem Böhler Uddeholm CZ s.r.o. zvolena pro zkoušení obalená elektroda **FOX EV 85**.

#### 2.4.3 Obalená elektroda EA 395/9

Tato elektroda byla licenčně vyráběná v ŽAZ Vamberk pod označením E-B 847. Zdrojem pro údaje byl materiálový list [19].

V tabulce 7 je uvedeno směrné chemické složení elektrody EA 395/9. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou uvedené v tabulce 8.

Značka elektrody	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N <sub>2</sub>	Maximálně				δ ferit
										S	P	Co	Cu	
EA395/9	≤ 0,12	0,35 ÷ 0,70	1,20 ÷ 2,80	13,50 ÷ 17,00	22,00 ÷ 27,00	4,50 ÷ 7,00	-	-	0,10 ÷ 0,15	0,018	0,030	0,050	-	-

Tabulka 7. Elektroda EA 395/9 - chemické složení svarového kovu – v hmotnostních %

Značka elektrody	TZ	T <sub>s</sub> [°C]	R <sub>m</sub> min. [MPa]	R <sub>p0,2</sub> min. [MPa]	A <sub>5</sub> min. [ % ]	Z min. [ % ]	KCV min. [J.cm <sup>-2</sup> ]	KCU 2 min. [J.cm <sup>-2</sup> ]	T <sub>k0</sub> ≤ [°C]	MKK	OTT
EA395/9	VS	+20 +350	608 490	363 274	23 -	40 -	- -	118 -	-	-	ANO
VS – výchozí stav (bez tepelného zpracování)											

Tabulka 8. Elektroda EA 395/9 - mechanické vlastnosti svarového kovu

Elektroda je určena pro svařování :

- ocelí austenitické oceli s uhlíkovými nebo křemikomanganovými oceli,
- austenitické oceli s legovanými nebo vysokochromovými oceli (pro použití do maximální teploty 500°C),
- austenitických ocelí tříd 08Ch18N10T a 10X17H13M2T a podobných ocelí s perlitickými,
- navarování hran částí z perlitické oceli

Svařování se provádí na krátké délce oblouku všech polohách. Typ proud - stejnosměrný (=), připojení na pól [+].

Přesušování svařovacích elektrod EA-395/9 před svařováním: 200-250 ° C / 2 h.

#### 2.4.4 Náhrada obalené elektrody EA 395/9

Jako náhrada původního přídatného materiálu, obalené elektrody EA 395/9, byla po konzultaci s výrobcem Böhler Uddeholm CZ s.r.o. zvolena pro zkoušení obalená elektroda **FOX NIBAS 70/20**.

## 2.5 Program č. 1 - elektroda FOX EV 85

### 2.5.1 Všeobecné požadavky

Zkoušky svarových kovů budou provedeny na jedné tavbě přídavného materiálu.

a) Metody svařování a přídavný materiál

Metoda 111 – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou.

Přídavný materiál FOX EV 85 Ø 2,5 mm.

Výrobce přídavného materiálu: Böhler Welding Group.

Označení podle ČSN EN 757 [20]: E 69 6 Mn2NiCrMo B 42 H5.

Zařazení výrobcem: obalená elektroda, nízkolegovaná, pevnostní.

Údaje výrobce: Basická elektroda s vysokou houževnatostí svarového kovu, odolností proti trhlinám. Použití: pro vysokopevnostní, jemnozrnné oceli do pracovních teplot až - 60 °C, dobrá odolnost proti stárnutí, velmi nízký obsah H<sub>2</sub> ve svarovém kovu. Elektroda je určena pro svařování jemnozrnných stavebních ocelí zušlechtených až na mez průtažnosti 740 N/mm<sup>2</sup> (MPa). a pro nízkolegované oceli zušlechtené až na pevnost 880 N/mm<sup>2</sup> (MPa).

b) Svařování zkušebních svarů

Svary pro odběr zkušebních vzorků budou svařeny podle normy ČSN EN ISO 15792, část 1 [21]. Jako základní materiál pro svaření zkušebních svarů bude použita ocel typu S235 o tloušťce 20 mm.

c) Tepelné zpracování

Zkušební svarové spoje budou tepelně zpracovány režimy TZ1 (620°C/15 + 650°C/30) a TZ2 (650°C/8).

### 2.5.2 Nedestruktivní zkoušky

Důvodem zařazení nedestruktivních zkoušek je včasné odhalení případných vad v navařeném kovu, které by mohly ovlivnit výsledky mechanických zkoušek. Všechny zkušební kusy (svary) budou po svaření zkoušeny v rozsahu 100%:

- Vizuální kontrolou podle ČSN EN 970 [22]. Požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23].
- Penetrační zkouškou podle ČSN EN 571-1 [24]. Stupeň přípustnosti 2X podle ČSN EN 1289 [25].
- Zkouškou prozářením podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].

### 2.5.3 Zkoušené vlastnosti svarových kovů

a) Chemické složení svarových kovů

Chemické složení svarových kovů bude dokladováno specifikací výrobce přídavného materiálu, ve které budou uvedeny mezní obsahy prvků a škodlivých příměsí. Chemické složení svarového kovu bude dále experimentálně ověřeno na zkušebním návaru zhotoveném minimálně na 5 vrstev svarového kovu. Zjištěné chemické složení návarů bude posouzeno s údaji specifikace výrobce.



b) Základní mechanické vlastnosti

Svarové kovy budou zkoušeny v následujícím rozsahu:

R<sub>m</sub> - pevnost v tahu

R<sub>p0,2</sub> – mez kluzu

A<sub>5</sub> - tažnost

Z - kontrakce

KV, KCV – nárazová práce (vrubová houževnatost)

Pro zkoušení budou použity následující normy:

ČSN EN 10002-5	Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty
ČSN EN ISO 6892-1	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty
ČSN EN 876	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje
ČSN EN 10045-1	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby)
ČSN EN 875	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení

Zkoušky tahem budou provedeny po tepelném zpracování při teplotě +20°C, +300°C a +350°C na třech zkušebních tyčích. Zkoušky rázem v ohybu budou provedeny při teplotě +20°C a -10°C na třech zkušebních tyčích po TZ1 a aTZ2.

Kritéria pro vyhodnocení zkoušek:

Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám původního přídatného materiálu PT 30.

*Poznámka:*

*U elektrod PT 30 se zkoušky mech. vlastností provádějí po TZ 650 °C/8h.*

#### 2.5.4 Závěrečné vyhodnocení

Závěrečné vyhodnocení bude provedeno posouzením vlastností svarového kovu zkoušeného přídatného materiálu FOX EV 85 se známými vlastnostmi původního přídatného materiálu PT 30, viz kapitola č. 6. DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.

## 2.6 Program č. 2 - elektroda FOX NIBAS 70/20

### 2.6.1 Všeobecné požadavky

Zkoušky svarových kovů budou provedeny na jedné tabbě přídatného materiálu.

a) Metody svařování a přídatný materiál

Metoda 111 – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou.

Přídatný materiál FOX NIBAS 70/20 Ø 2,5 mm.

Výrobce přídatného materiálu: Böhler Welding Group.

Označení podle ČSN EN ISO 14 172 [28]: E Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb).

Zařazení výrobcem: obalená elektroda, nízkolegovaná, pevnostní.

Údaje výrobce: Basická elektroda s dolegovaným jádrem. Použití: na vysoce kvalitní svarové spoje od slitin Ni, žárupevných ocelí, žáruvzdorných ocelí, ocelí odolných okujení nebo pracujících při nízkých teplotách až po heterogení spoje nebo nízkolegované, obtížně svařitelné oceli. Například rozsah použití při stavbě tlakových nádob: -196 až +550 °C. Odolnost proti okujení: 1 200 °C (v prostředí bez S).

b) Svařování zkušebních svarů

Svary pro odběr zkušebních vzorků budou svařeny podle normy ČSN EN ISO 15792-1 [21]. Jako základní materiál pro svaření zkušebních svarů bude použita austenitická ocel X2CrNi18-9 (dle dřívějších ČSN odpovídá oceli 17 287, dle ČSN EN 10088-1 [44] je W. Nr. 1.4307) o tloušťce 20 mm.

c) Tepelné zpracování

Zkušební svarové spoje budou tepelně zpracovány režimem TZ5 (620°C/25 + 650°C/20) definovanými v [1], postupem podle [12], kapitola II.5. bodu B.

### 2.6.2 Nedestruktivní zkoušky

Důvodem zařazení nedestruktivních zkoušek je včasné odhalení případných vad v navařeném kovu, které by mohly ovlivnit výsledky mechanických zkoušek. Všechny zkušební kusy (svarové spoje) budou po svaření zkoušeny v rozsahu 100% :

- Vizualní kontrolou podle ČSN EN 970 [22]. Požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23]. O provedené vizualní kontrole budou vystaveny záznamy pro účely této práce.
- Penetrační zkouškou podle ČSN EN 571-1 [24]. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN ISO 23277 [29].
- Zkouškou prozářením podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].

### 2.6.3 Zkoušené vlastnosti svarových kovů

c) Chemické složení svarových kovů

Chemické složení svarových kovů je dokladováno specifikací výrobce přídatného materiálu, ve které jsou uvedeny mezní obsahy prvků a škodlivých příměsí. Chemické složení svarového kovu bude dále experimentálně ověřeno na zkušebním návaru zhotoveném minimálně na 5 vrstev svarového kovu. Zjištěné chemické složení návarů bude posouzeno s údaji specifikace výrobce.

d) Základní mechanické vlastnosti

Svarové kovy budou zkoušeny v následujícím rozsahu:

$R_m$  - pevnost v tahu

$R_{p0,2}$  – mez kluzu

$A_5$  - tažnost

Z - kontrakce

KCU2, KCV – nárazová práce (vrubová houževnatost)

Pro zkoušení budou použity následující normy:

ČSN EN 10002-5	Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty
ČSN EN ISO 6892-1	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty
ČSN EN 876	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje
ČSN EN 10045-1	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby)
ČSN EN 875	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vruby a zkoušení

Zkoušky tahem budou provedeny ve výchozím stavu a po tepelném zpracování při teplotě +20°C, +300°C a +350°C na třech zkušebních tyčích. Zkoušky rázem v ohybu s vruby U i V o hloubce 2 mm budou provedeny při teplotě +20°C na třech zkušebních tyčích ve výchozím stavu a po tepelném zpracování.

Kritéria pro vyhodnocení zkoušek:

Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám původního přídavného materiálu EA 395/9.

e) Stanovení odolnosti proti vzniku trhlin za tepla:

Stanovení odolnosti zkoušeného svarového kovu proti vzniku trhlin za tepla bude provedeno podle [12].

Kritérium pro hodnocení: na žádném zkoušeném vzorku nebudou při metalografickém vyhodnocení makrostruktury při šesti až sedminásobném zvětšení a vizuální hodnocení svarových housenek identifikovány teplé krystalizační trhliny.

#### **2.6.4 Závěrečné vyhodnocení**

Závěrečné vyhodnocení bude provedeno posouzením vlastností svarového kovu zkoušeného přídavného materiálu FOX NIBAS 70/20 se známými vlastnostmi původního přídavného materiálu EA 395/9, viz kapitola č. 6. DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.

### 3. SVAŘENÍ KONTROLNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ (KSS)

#### 3.1 KSS - elektroda FOX EV 85

##### 3.1.1 Příprava

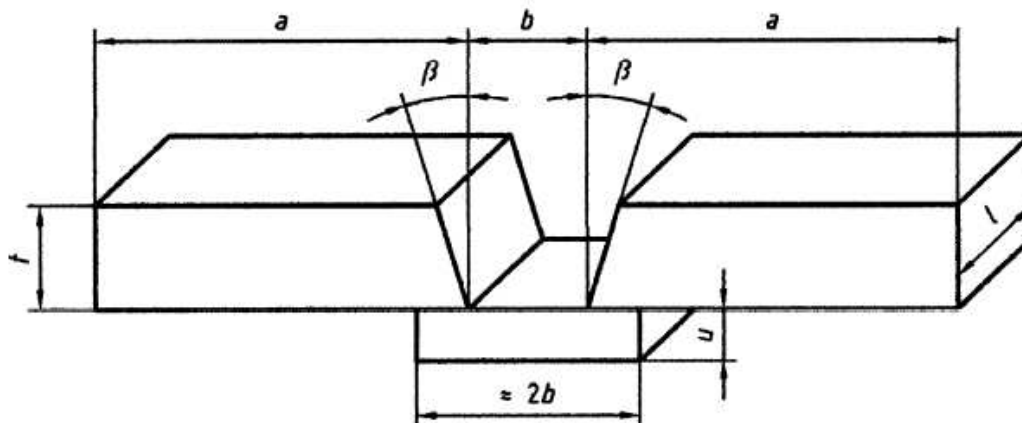
Svarové kovy pro provedení zkoušek byly v souladu s programem navařeny podle požadavků normy ČSN EN ISO 15792-1 [21]:

- Zkušební kusy byly připraveny strojním obráběním (frézováním) a dokončeny ručním broušením (viz obrázek 5) ve tvaru jednostranného V-úkosu na podložném pásku.



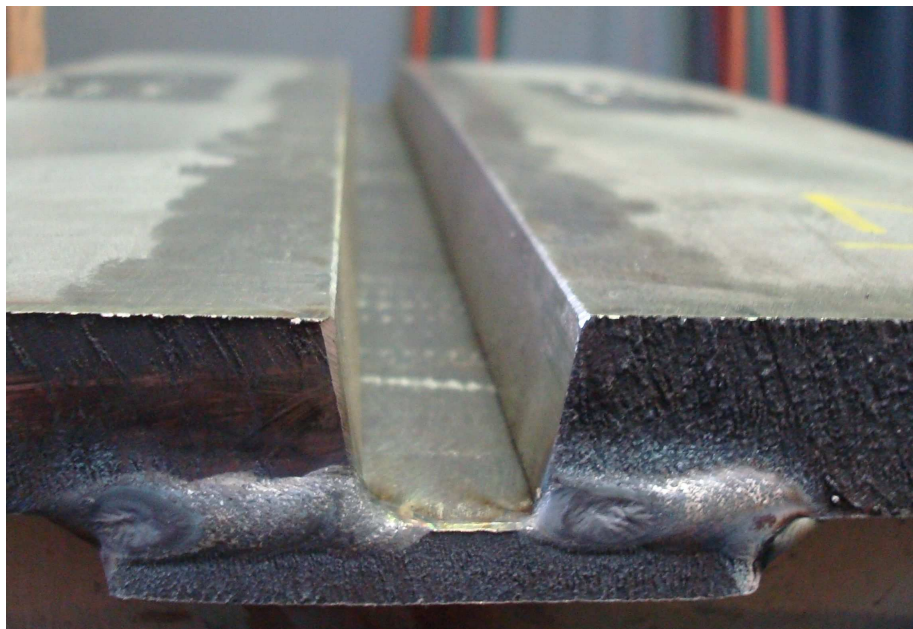
Obrázek 5. Příprava zkušebních kusů ručním broušením

- Podložný pásek byl přistehován ke spodní straně zkušebního kusu.
- Rozměry zkušebního kusu (obrázek 6):  
 $t = 20\text{mm}$ ,  $a \geq 150\text{mm}$ ,  $b = 16\text{mm}$ ,  $u \geq 6\text{mm}$ ,  $b = 10^{+2,5}\text{mm}$ ,  $l \geq 150\text{mm}$ ,  $\beta = 10^\circ$



Obrázek 6. Tvar zkušebního kusu

- Zkušební kusy byly připraveny tak, aby po svařování byl každý zkušební kus pro odběr zkušebních tyčí dostatečně rovinný a aby po svařování nemusely být zkušební kusy rovnávány. Před vlastním svařováním byl povrch základního materiálu očištěn ručně kartáčem a odmaštěn (obrázek 7).



*Obrázek 7. Připravený zkušební kus*

### **3.1.2 Svařování**

Při svařování byl použit základní materiál S 235 JR+N o tloušťce 20 mm. Tato ocel je zařazena do skupiny č. 1.1 dle normy TNI CEN ISO/TR 15608 [30].

Obalené elektrody byly před použitím vysušeny v peci režimem 300÷350 °C / 2h.

Návary na tento materiál byly pro zkoušky provedeny na 10 vrstev. Zkušební desky připravené strojním obráběním a ručním broušením, měly rozměry 500x300x20 mm.

Zkušební kusy byly svařovány (obrázek 8) v poloze vodorovné shora (poloha PA dle ČSN EN ISO 6947 [31]). Svařování bylo započato až po dosažení teploty předehřevu 100°C. Ohřev na teplotu předehřevu byl proveden rychlostí 50°C/h. V souladu s normou svařovacího materiálu byla dodržována interpass teplota max. 200°C.

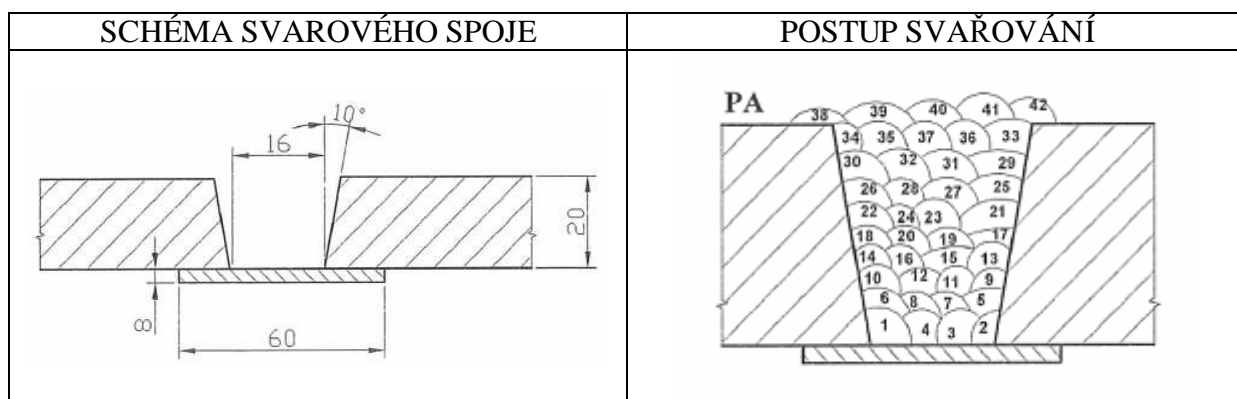


Obrázek 8. Svařování

Teplota předehřevu a interpass teplota byla měřena termokřídami a dotykovým teploměrem. Použité parametry svařování (proud, napětí, rozkyv elektrody) byly udržovány v předem stanoveném rozsahu:

průměr elektrody:	2,5 mm
rozkyv elektrody:	max. 3x průměr elektrody, tzn. max. 7,5 mm,
svařovací proud:	95÷100 A, stejnosměrný (DC), polarita elektrody +,
svařovací napětí:	22÷25 V
délka každé housenky:	cca 138 mm
čas pro jednu housenku:	cca 38 sec

Z obrázku 9 jsou patrné způsob přípravy svarového spoje a postup kladení jednotlivých svarových housenek.



Obrázek 9. Schéma svarového spoje a postup kladení housenek

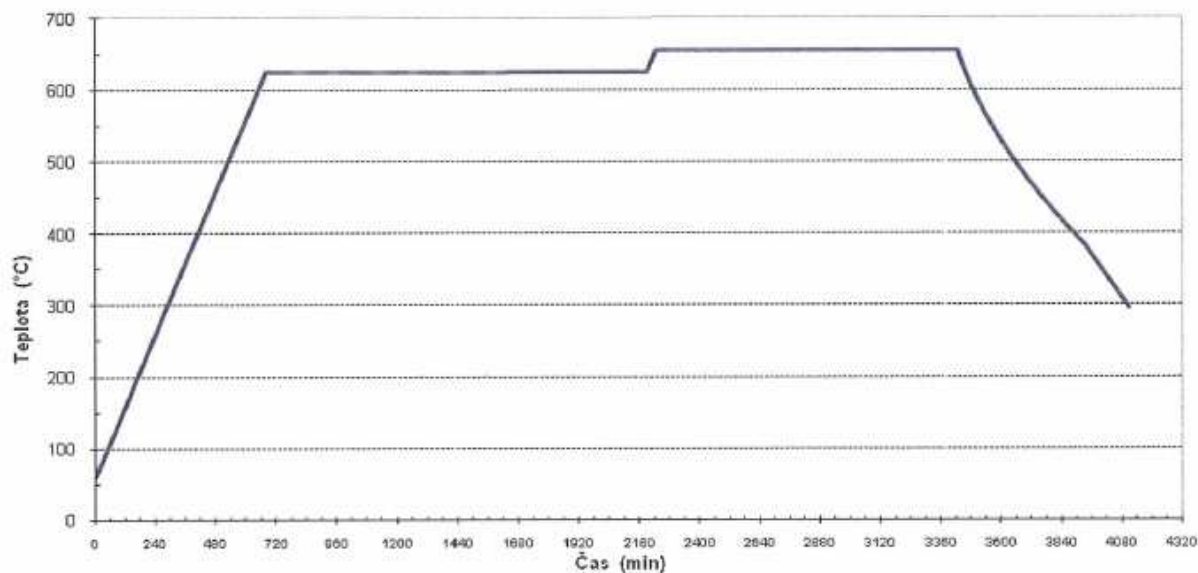
### 3.1.3 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování zkušebních desek bylo provedeno podle metodiky [12]. Zkušební svarové spoje byly v žíhací peci typu LAC PK 225/12 zpracovány následujícími režimy:



a) TZ1: 620°C/15h + 650°C/30h

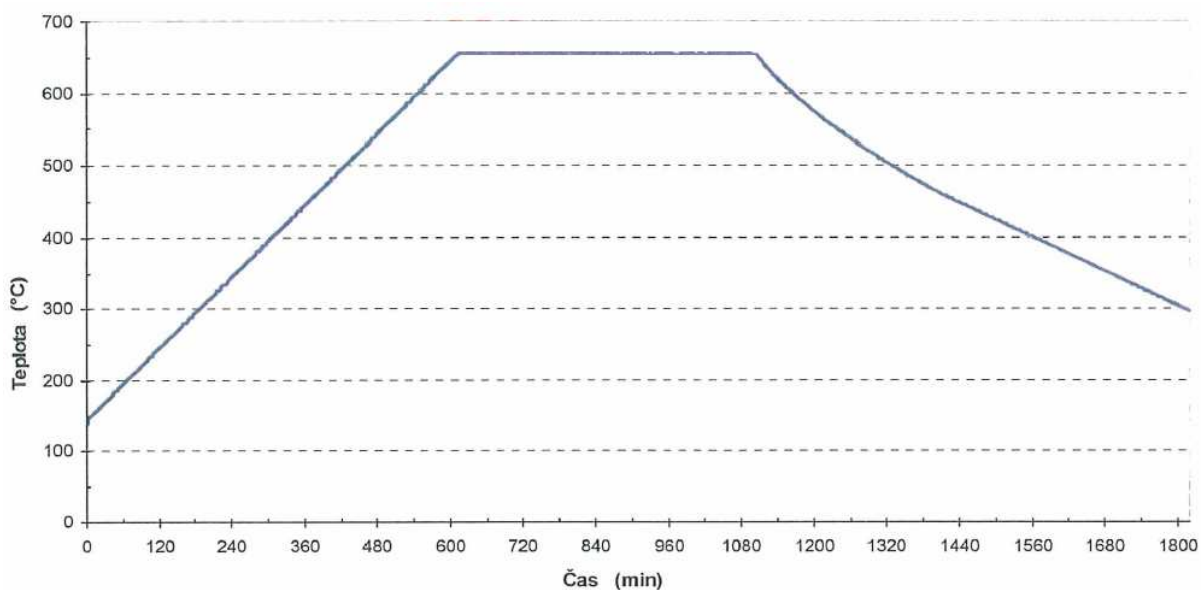
Teplota pece i vzorku činila cca 20°C při vsazování, ohřev byl proveden rychlostí 50 °C za hodinu na teplotu 620°C. Po výdrži 25 hodin při této teplotě byla stejnou rychlostí (50 °C/h) zvýšena teplota na 650°C, výdrž při této teplotě 30 hodin. Poté proběhlo ochlazování v uzavřené peci až do 300°C. Pec byla otevřena, další chladnutí probíhalo na vzduchu. Z průběhu TZ byl pořízen záznam (obrázek 10).



Obrázek 10. Záznam TZ1

b) TZ2: 650°C/8h

Ohřev byl proveden rychlostí 50 °C za hodinu na teplotu 650°C. Po výdrži 8 hodin při této teplotě bylo stejnou rychlostí (50 °C/h) provedeno ochlazování v uzavřené peci až do 300°C. Pec byla otevřena, další chladnutí probíhalo na vzduchu. Z průběhu TZ byl pořízen záznam (obrázek 11).



Obrázek 11. Záznam TZ2

## 3.2 KSS - elektroda FOX NIBAS 70/20

Svarové kovy pro provedení zkoušek byly v souladu s programem navařeny podle požadavků normy ČSN EN ISO 15792-1 [21].

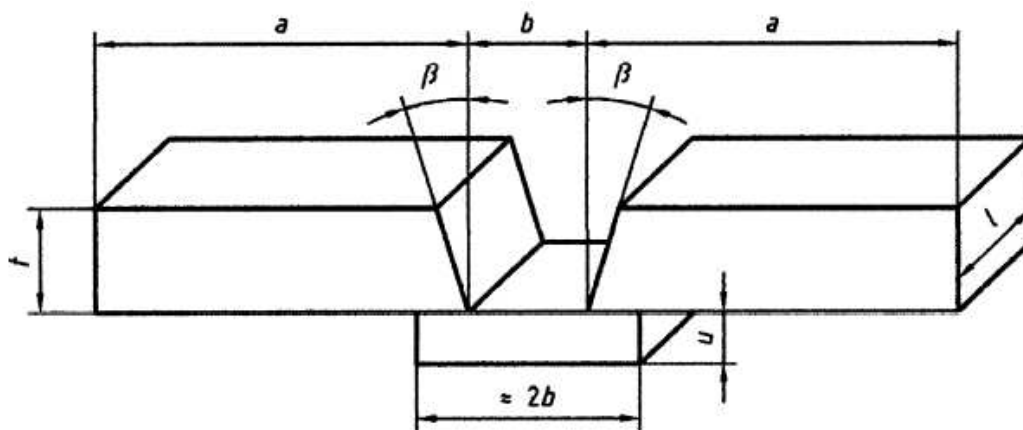
### 3.2.1 Příprava

- Zkušební kusy (obrázek 12) byly připraveny strojním obráběním (frézováním) a dokončeny ručním broušením ve tvaru jednostranného V-úkosu na podložném pásku.



Obrázek 12. Připravené zkušební kusy

- Podložný pásek z oceli X2CrNi 18-9 byl přistehován k zadní straně zkušebního kusu.
- Rozměry zkušebního kusu (obrázek 13):  
 $t = 20\text{mm}$ ,  $a = 500\text{mm}$ ,  $l = 300\text{mm}$ ,  $b = 16\text{mm}$ ,  $u = 8\text{mm}$ ,  $b = 10^{+2,5}\text{mm}$ ,  $\beta = 10^\circ$



Obrázek 13. Tvar zkušební kusu



- Zkušební kusy byly připraveny tak, aby po svařování byl každý zkušební kus pro odběr zkušebních tyčí dostatečně rovinný a aby po svařování nemusely být zkušební kusy vyrovnávány. Před vlastním svařováním byl povrch základního materiálu očištěn ručně kartáčem a odmaštěn (obrázek 14).



*Obrázek 14. Připravený zkušební kus a elektrody*

### 3.2.2 Svařování

Při svařování byl použit základní materiál austenitická ocel X2CrNi18-9 (dle ČSN 17 287, W. Nr. 1.4307) o tloušťce 20 mm. Ocel X2CrNi18-9 je zařazena do skupiny 8, podskupina 8.1 dle normy TNI CEN ISO/TR 15608 [30].

Obalené elektrody nebyly před prvním použitím vysoušeny, balení od výrobce bylo provedeno v ochranné atmosféře. Proto nebylo přesušování nutné. Při nespotebování množství z balení byly elektrody před dalším použitím vysušeny v sušící peci režimem 250÷300 °C / 2h.



*Obrázek 15. Navařená housenka před očištěním*

Návary (obrázek 15) na tento materiál byly pro zkoušky provedeny na 10 vrstev svarového kovu. Zkušební desky byly připraveny strojním obráběním a ručním broušením a měly rozměry 500x300x20 mm (viz obrázek 13).

Zkušební kusy byly svařovány v poloze vodorovné shora (poloha PA dle ČSN EN ISO 6947 [31]).

V souladu s normou svařovacího materiálu byla dodržována interpass teplota max. 100°C, která byla měřena dotykovým teploměrem (obrázek 16).

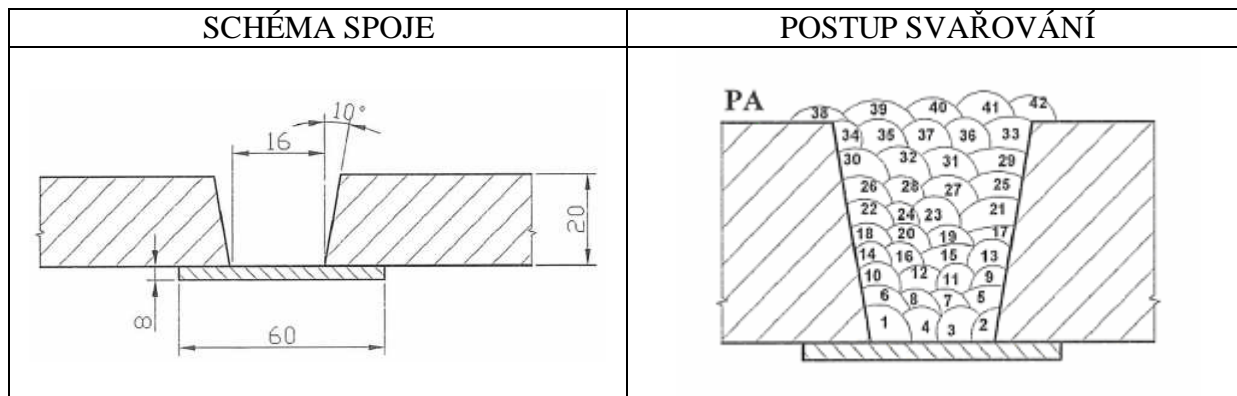


*Obrázek 16. Měření interpass teploty*

Použité parametry svařování (proud, napětí, rozkvy elektrody) byly udržovány v předem stanoveném rozsahu:

průměr elektrody:	2,5 mm
rozkv elektrody:	max. 3x průměr elektrody, tzn. max. 7,5 mm,
svařovací proud:	70÷72 A, stejnosměrný (DC), polarita elektrody +,
svařovací napětí:	23÷25 V
délka každé housenky:	cca 100 mm
čas pro jednu housenku:	cca 38 sekund

Způsob přípravy svarového spoje a postup kladení jednotlivých svarových housenek jsou patrné z obrázku 17.



Obrázek 17. Schéma spoje a postup kladení housenek

### 3.2.3 Tepelné zpracování

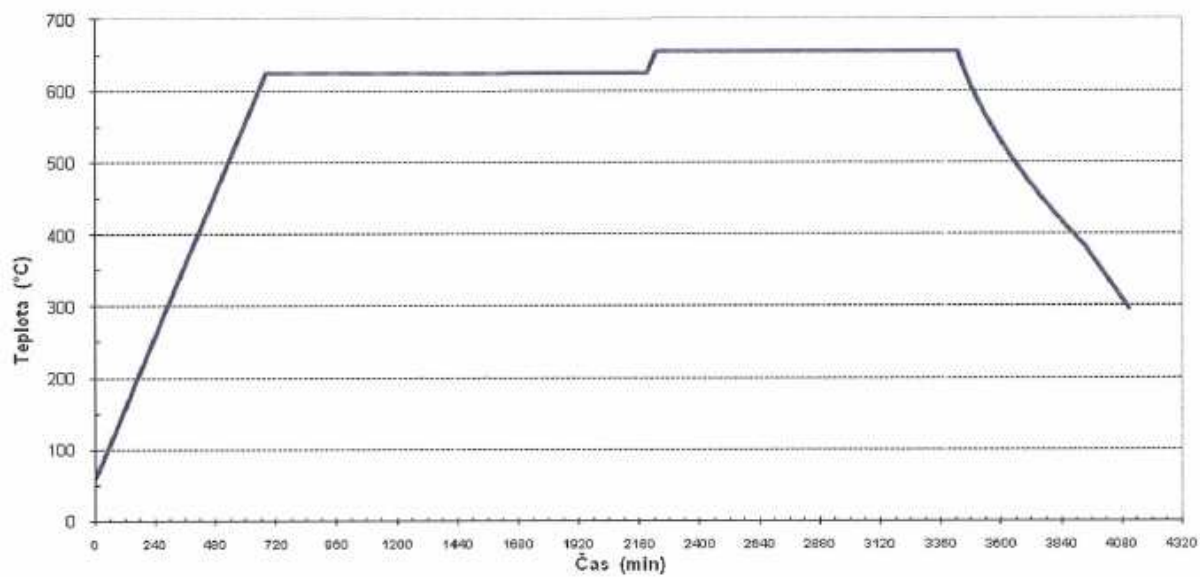
Tepelné zpracování zkušebních desek bylo provedeno podle metodiky [12]. Zkušební svarové spoje byly v žíhací peci typu LAC PK 225/12 (obrázek 18) zpracovány teplotním režimem 620°C / 25h / 650°C/30h.



Obrázek 18. Žíhací pec LAC PK 225/12

Teplota pece i vzorku činila cca 20°C při vsazování a ohřev byl proveden rychlostí 50 °C za hodinu na teplotu 620°C. Po výdrži 25 hodin při této teplotě byla stejnou rychlostí (50 °C/h) zvýšena teplota na 650°C, výdrž při této teplotě 30 hodin. Poté proběhlo ochlazování v uzavřené peci až do 300°C. Pec byla otevřena, další chladnutí probíhalo na vzduchu. Z průběhu TZ byl pořízen záznam (obrázek 19).





*Obrázek 19. Záznam TZ*

## 4. TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH ELEKTROD

### 4.1 Svařovací elektrody

Svařovací elektroda se skládá z legovaného nebo nelegovaného drátu, který tvoří její jádro a obalu. Pro ruční obloukové svařování lze v principu použít neobalenou nebo obalenou elektrodu, přičemž tato elektroda slouží zároveň jako nositel oblouku i jako zdroj přídavného materiálu. Při obecném popisu svařovacích elektrod byl využit zdroj [11].

#### 4.1.1 Neobalené elektrody

Tzv. holé elektrody, tento druh elektrod je tvořený holým drátem. Vzhledem k tomu, že se u tohoto způsobu svařování nepoužívají žádné stabilizační prvky, jako je obal, příp. náplň, hoří oblouk velice neklidně.

Oblouk se snadno odtrhne a elektroda má tendenci k lepení. Svařování střídavým proudem zde není možné vůbec. V průběhu svařování přijímá tavná lázeň ze vzduchu kyslík a dusík. Dosažitelná kvalita svarového spoje je nízká, svar bývá často pórézní a jeho povrch vykazuje hrubé nerovnosti.

#### 4.1.2 Plněné elektrody

Tzv. elektrody s duší. Tyto elektrody mají v jádře centricky zaválcovanou duši složenou ze stabilizačních přísad. Vykazují lepší svářecí vlastnosti, než elektrody bez obalu. Lze je použít i ke svařování střídavým proudem.

Tavná lázeň není při svařování chráněna a proto dosažitelné svařovací vlastnosti stačí jen pro uspokojení zcela nízkých nároků na kvalitu takto provedené práce.

#### 4.1.3 Obalené elektrody

Dnes se ve svařovací praxi používají pouze elektrody obalené. Jejich obal zajišťuje velice dobré svařovací vlastnosti a vysokou kvalitu svaru. Obal se na elektrody nanáší vytlačováním na mechanicky nebo hydraulicky poháněných lisech. Jako pojivo pro jednotlivé komponenty obalu slouží vodní sklo. Po nalisování se elektrody suší ve vysoušecí peci. Zde se odstraní vlhkost a obal získá zároveň i mechanickou pevnost. Podle síly obalu rozlišujeme slabě, středně a silně balené elektrody.

#### 4.1.4 Úkoly elektrodového obalu a jeho složení

Elektrodový obal plní mimo jiné následující úkoly:

- **Vytvoření ochranného plynového zvonu.** Ten se vytváří z následujících látek: dřevěné uhlí, papírová vlákna, celulóza a dřevitá moučka (látky se v oblouku slučují se vzdušným kyslíkem na  $\text{CO}_2$ ). Vápno, dolomit, magnezit (= karbonáty) - uvolňují působením teploty oblouku rovněž  $\text{CO}_2$ .
- **Tvorba strusky.** K té dochází za přispění složek, jako jsou: železná ruda, manganová ruda, křemen ( $\text{SiO}_2$ ) rutil ( $\text{TiO}_2$  = kysličník titaničitý), vápno, dolomit.
- **Stabilizace oblouku.**
- **Ionizace vzduchové dráhy.** Ionizaci (zvyšující vodivost dráhy oblouku) obstarávají složky, jako draslík, sodík, lithium, a sloučeniny vápníku. Pokud se elektroda v důsledku příliš vysokého svařovacího proudu příliš zahřeje, mohou se tyto látky z obalu odpařit, čímž se ztíží její opětovné zapálení.
- **Pomalé ochlazování svaru.** To umožňuje docílit při odborně prováděném svařování zcela bezpórézní svary.

#### 4.1.5 Požadavky na obalené elektrody

- **Z hlediska svářecí techniky:**
  - Snadné prvotní i opětovné zapálení
  - Schopnost přemostit mezery ve svarovém úkosu
  - Dobrá svařitelnost ve vynucených polohách
  - Stabilní oblouk
  - Odolný obal
  - Slabý vývin kouře
  - Nejedovaté plyny a páry
- **Ekonomické:**
  - Vysoký odtavný výkon - velká výtěžnost
  - Malé ztráty rozstříkem
  - Snadná odstranitelnost strusky
  - Vysoká svářecí rychlost
  - Využitelnost co největší části z její celkové délky
  - Úhledný povrch svaru
- **Metalurgické:**
  - Co nejlepší mechanické vlastnosti
  - Odolnost proti tvorbě pórů
  - Necitlivost na rez, opal, olej a nečistoty na povrchu ocele
  - Necitlivost proti vycezování
  - Bezpečnost proti vzniku tepelných i studených trhlin
  - Necitlivost vůči vlhkosti v obalu
- **Funkce elektrody:**
  - je nositelem oblouku
  - dodává přídatný materiál
  - její obal chrání a formuje tavnou lázeň

#### 4.1.6 Druhy elektrodoových obalů

Elektrody se železným práškem, resp. elektrody vysokovýkonové:

- Silně balené elektrody
- Vysoká výtěžnost
- Vysoký odtavný výkon

Legované elektrody:

Legovací přísady se do svarového kovu zanášejí buď prostřednictvím jádra elektrody, nebo jejího obalu. Jedná se o elektrody s chemickou, či tepelnou odolností, příp. elektrody určené pro tvrdé navařování.

- **Rutilový obal:**

Přednosti: -přechod materiálu v drobných kapkách,  
- snadná svařitelnost,  
- úhledný, plochý svar,  
- možnost použití pro AC (stejnoseměrný) i DC (střídavý) proud.

Nevýhody: - nelze svařovat v jakékoliv poloze,  
- snížené mechanické vlastnosti v porovnání s elektrodami bazickými,  
- obtížná přemostitelnost mezer.

- **Bazický obal:**

Přednosti: - přechod materiálu ve velkých kapkách,  
- svařitelnost v polohách,  
- velmi dobré mechanické vlastnosti,  
- svařují se většinou na DC+.

Nevýhody: - poněkud obtížnější svařitelnost,  
- vyžaduje se jejich dosoušení.

- **Celulózový obal:**

Přednosti: - přechod materiálu v malých kapkách,  
- hluboký závar,  
- všechny polohy, zvláště klesavá,  
- dobré mechanické vlastnosti,

Nevýhody: - velice obtížná svařitelnost,  
- nelze použít pro všechny typy svářeček,  
- vývin značného množství kouře.

#### **4.1.7 Vysoušení**

Obalené elektrody se musí po delším skladování opětovně vysušit, protože určité složky jejich obalu přijímají ze vzduchu vlhkost (hygroskopičnost). Zvýšený podíl vodíku ve svaru pak může vést ke vzniku trhlin. Toto se netýká vakuově nebo v ochranných atmosférách balených obalených nebo plněných elektrod. Samozřejmě pouze do okamžiku otevření (resp. uplynutí určité doby po otevření) nebo poškození obalu.

## 4.2 Elektroda FOX EV 85

Pro uvedení vlastností byly použity údaje výrobce z katalogu [45].

Rozměry:  $\varnothing$  2,5 mm, délka L = 250 mm.

Připojení ke zdroji: = (stejnoseměrný), polarita +  
Doporučený svařovací proud: 80÷100 A

Klasifikace:

ČSN EN 757 [20]: E 69 6 Mn2NiCrMo B 42 H5

AWS A5.5-06 [32]: E11018-GH4R, E11018MH4R (mod.)

Min. mech. hodnoty při běžné teplotě:

Rm 790 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Re 720 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

A5 16 %

Kv 90 J/ 20°C

Kv 47 J /-60°C

Směrné chemické složení svarového kovu [%]:

C 0,05

Cr 0,4

Si 0,4

Ni 2,1

Mn 1,7

Mo 0,50

Fe základ

Polohy svařování (dle ČSN EN ISO 6947 [31]):

Elektrodou lze snadno svařovat ve všech polohách s výjimkou svislé dolů (PG).



Elektrodou lze svařovat v poloze PE - vodorovná nad hlavou.

Elektrodou lze svařovat v poloze PF - zdola nahoru (tzv. "stoupačka").

Elektrodou lze svařovat v poloze PA - vodorovná shora.

Vlastnosti a použití:

Bazická elektroda pro svařování jemnozrnné oceli vysoké pevnosti.

Svar houževnatý do -60°C, s velmi nízkým obsahem H<sub>2</sub> (<4 ml/100g), odolný stárnutí.

Oceli S620QL až S690QL, S620QL1, S690QL1, N-A-XTRA 56, 63, 70, zušlechtitelné jemnozrnné oceli s mezí kluzu do 720 N/mm<sup>2</sup> (MPa), zušlechtitelné oceli pevnosti do 790 N/mm<sup>2</sup> (MPa), plechy Weldom. Elektrody jsou dodávány v průměrech 2,5; 3,2; 4,0; 5,0 mm.

Schválení: **TÜV-D** (Technické dozorní sdružení, Německo), **DB** (Německé dráhy), **ÖBB** (Rakouské státní dráhy), **CEPROZ** (Ukrajinské Centrum pro hodnocení), **CE** (shoda výrobku s příslušnými požadavky Evropské unie).

Přesušení v případě potřeby: 300÷350°C, min. 2 hodiny.



### 4.3 Elektroda FOX Nibas 70/20

Pro uvedení vlastností byly použity údaje výrobce z katalogu [45].

Rozměry:  $\varnothing$  2,5 mm, délka L = 250 mm.

Připojení ke zdroji: = (stejnoseměrný), polarita +  
Doporučený svařovací proud: 40÷70 A

Klasifikace:

W. Nr.: 2.4648

EN ISO 14172 [28]: E Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)

AWS A5.11 [33]: E NiCrFe-3 (mod.)

Min. mech. hodnoty při běžné teplotě:

R<sub>m</sub> 620 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

R<sub>e</sub> 390 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

A<sub>5</sub> 35 %

K<sub>v</sub> 80 J

K<sub>v</sub> 65 J/-196°C

Směrné chemické složení svarového kovu [%]:

C 0,029

Mn 5,0

Mo 1,5

Fe 3,0

Si 0,4

Cr 19,0

Nb 2,2

Ni základ

Polohy svařování (dle ČSN EN ISO 6947 [31]):



Elektrodou lze svařovat v poloze PE - vodorovná nad hlavou.

Elektrodou lze svařovat v poloze PF - zdola nahoru (tzv "stoupačka").

Elektrodou lze svařovat v poloze PA - vodorovná shora.

Vlastnosti a použití:

Bazická elektroda s vysokým obsahem niklu pro vysoce žárupevné oceli, žáruvzdorné austenity, oceli houževnaté za velmi nízkých teplot, pro žárupevné heterogenní spoje austenitických materiálů s feritickými. Oceli W. Nr. 2.4817, 2.4851, 1.4876, 1.4941, speciální spoje ocelí na odlitky CrNi 25/35 s vyšším obsahem uhlíku s ocelí 1.4859 a 1.4876 u petrochemických zařízení s teplotou do 900°C. Velmi houževnatý svar je odolný trhlinám, nenáchylný na zkřehnutí, žárupevný, odolný korozi, opalu, tepelným šokům. Elektrody jsou dodávány v průměrech 2,5; 3,2; 4,0; 5,0 mm.

Schválení: **TÜV-D** (Technické dozorčí sdružení, Německo), **TÜV-A** (Technické dozorčí sdružení, Rakousko), **Statoil** (Norská energetická společnost), **LTSS** (Litevská služba technického dozoru), **VÚZ** (Výskumný Ústav Zvaračský, Slovensko), **CEPROZ** (Ukrajinské Centrum pro hodnocení), **CE** (shoda výrobku s příslušnými požadavky Evropské unie), **KTA** (Výbor pro jadernou bezpečnost, Německo).

Přesušení v případě potřeby: 250÷300°C, min. 2 hodiny.

## 5. ZJIŠTĚNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ELEKTROD

### 5.1 Zkoušky náhrad přídavných materiálů

#### Obecně

Zkoušky náhrad přídavných materiálů byly prováděny pro jeden průměr elektrody jedné vybrané značky přídavného materiálu.

#### Technická dokumentace zkoušek

Před svařováním svarového spoje byl vypracován program zkoušek. Tento program obsahuje všechny údaje pro provedení zkoušky:

- druh, jakost, obchodní značení (klasifikaci dle AWS, EN atp.), rozměr přídavného materiálu,
- rozměry a tvar vzorku a svarových ploch zkušebního spoje,
- předběžná specifikace postupu svařování pro provedení svarového spoje,
- požadovaný rozsah nedestruktivních a destruktivních zkoušek s předepsanými požadovanými hodnotami,
- další potřebné údaje pro provedení zkoušky přídavného materiálu.

#### Příprava kontrolního svarového spoje

Při svařování svarového spoje a odběru zkušebních vzorků bylo postupováno dle ČSN EN ISO 15792 Svařovací materiály - Zkušební metody:

- Část 1: Zkušební metody pro zkušební vzorky z čistých svarových kovů z oceli, niklu a slitin niklu. a
- Část 2: Příprava jednostranně a oboustranně svařovaných zkušebních kusů pro zhotovení vzorků z oceli.

#### Rozsah nedestruktivních kontrol

Nedestruktivní kontroly svarových spojů osvědčovacích zkoušek obsahovaly:

- a) vizuální kontrolu,
- b) kapilární zkoušku,
- c) prozářením (radiografická zkouška).

#### Rozsah destruktivních zkoušek

Rozsah destruktivních zkoušek vyplývá z hodnot uvedených v technických charakteristikách přídavných materiálů v [1].

#### Provedení kontrol a zkoušek

Zkoušky se provádějí a vyhodnocují podle norem a dokumentů v platném vydání:

Nedestruktivní zkoušky

- vizuální zkouška – ČSN EN 970 [22], ČSN EN ISO 5817 [23]
- kapilární zkouška – ČSN EN 571-1 [24], ČSN EN 1289 [25]
- radiografická zkouška – ČSN EN 1435 [26], ČSN EN 12517-1 [27]

Vizuální zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 970 [22] a vyhodnocena podle ČSN EN ISO 5817 [23], stupeň jakosti B. Ostatní NDT zkoušky byly provedeny a vyhodnoceny podle výše uvedených norem. Požadovaný stupeň přípustnosti odpovídající stupni jakosti B udává norma ČSN EN 12062 [34]. Při provádění zkoušek RT byla použita technika a třída zkoušení B.

### Destruktivní zkoušky

- podélná zkouška tahem svarového kovu – ČSN EN 876 [38], ČSN EN 10002-1 [35]
- zkouška rázem v ohybu – ČSN EN 875 [40], ČSN EN 10045-1 [39]
- zkouška odolnosti proti MKK – GOST 6032 [41], metoda AM
- kontrola obsahu  $\delta$  feritu – ČSN EN ISO 8249 [42] a podle metodiky [13]
- zkouška odolnosti proti trhlinám za tepla – PN-ŽAZ-312-1-87 [12]
- stanovení chemického složení – postupy zkušební laboratoře

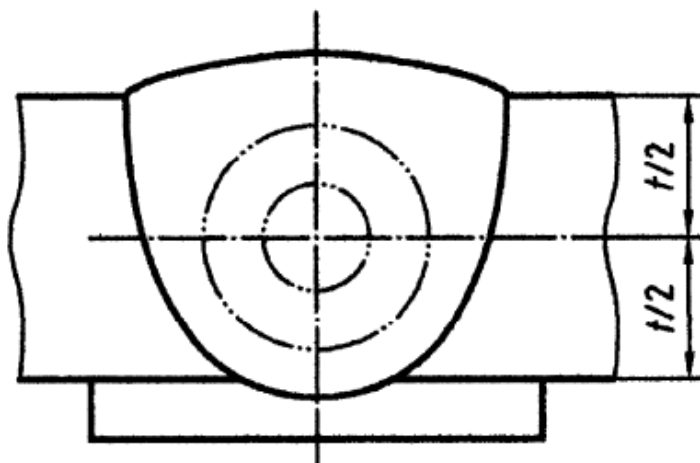
### Výsledky zkoušek

Pro vyhodnocení předepsaných nedestruktivní kontrol bylo použito hodnocení dle ČSN EN ISO 5817 [23] stupeň jakosti B, s využitím normy ČSN EN 12062 [34] pro stanovení odpovídajících stupňů přípustnosti.

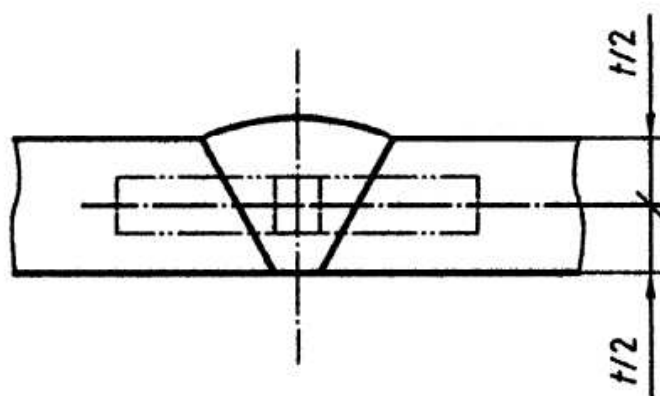
Všechny destruktivní zkoušky musí splnit požadavky předepsané pro původní přídatné materiály.

## 5.2 Příprava zkušebních tyčí a jejich rozměry

Umístění tyčí (resp. jejich odebrání ze zkušebních desek) pro zkoušku tahem (obrázek 20) a tyčí pro zkoušku rázem v ohybu (obrázek 21) bylo provedeno v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 15792-1 [21]. Zkušební tyče byly umístěny uprostřed tloušťky plechu (výšky navařeného kovu).



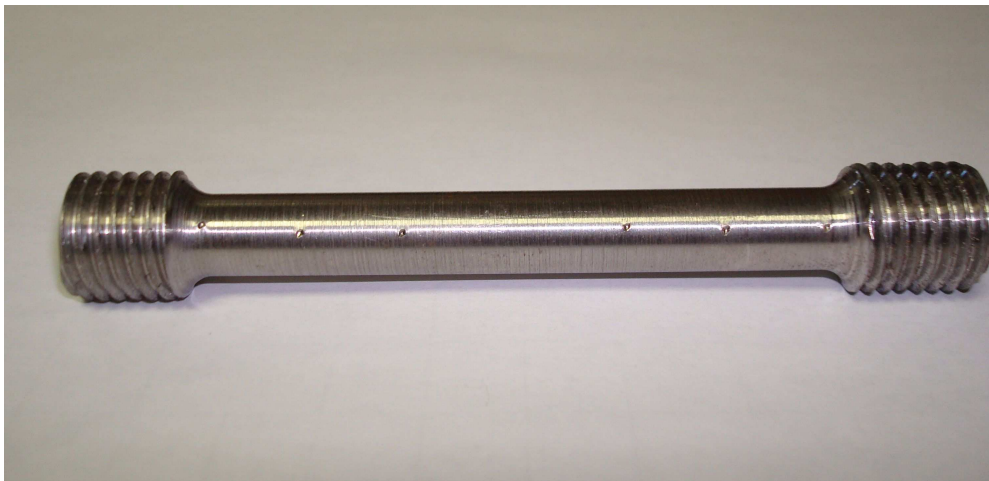
Obrázek 20. Umístění zkušební tyče pro zkoušku tahem



Obrázek 21. Umístění zkušební tyče pro zkoušku rázem v ohybu

Zkušební kusy byly zhotoveny řezáním a mechanickým obráběním.

Pro zkoušku tahem byly zkušební tyče (obrázek 22) připraveny podle ČSN EN 876 [38].  
Rozměry tyčí pro zkoušku tahem: průměr pracovní části 10 mm, délka 100 mm.



*Obrázek 22. Zkušební tyč pro zkoušku tahem*

Pro zkoušku rázem v ohybu byly připraveny zkušební tyče (obrázek 23) podle EN 875 [40].  
Rozměry zkušebních těles: délka 55 mm, čtvercový průřez o stranách 10 mm. Ve středu délky byly zhotoveny vruby tvaru V a tvaru U.



*Obrázek 23. Zkušební tyč pro zkoušku rázem v ohybu*

### 5.3 Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - zkoušení

#### Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky byly provedeny proto, aby byly včas odhaleny případné vady v navařeném kovu, které by mohly ovlivnit výsledky mechanických zkoušek.

Při navařování desek byl kontrolován vizuálně povrch každé navařené svarové housenky a povrch návaru každé zkušební desky. Vizuální kontroly byly provedeny podle ČSN EN 970 [22]. Pomocí přídavného osvětlení (halogenová svítidla) bylo dosaženo intenzity osvětlení 680 Lx, ke kontrole byly použity lupa a měrka svarů.

Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23].

Všechny zkušební návary svarového kovu byly po svaření kontrolovány v rozsahu 100% kapilární zkouškou a zkouškou prozářením.

Penetrační (kapilární) zkouška byla provedena podle ČSN EN 571-1 [24]. Byly použity prostředky výrobce Helling: penetrant U88, rozpouštědlo U87, vývojka U89. Penetrační čas činil 7 minut, vyvíjecí čas 15 minut. Zkušební teplota byla 20°C.

Pomocí přídavného osvětlení (halogenová svítidla) bylo dosaženo intenzity osvětlení 680 Lx. Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň přípustnosti 2X podle ČSN EN 1289 [25] („X“ znamená, že všechny zjištěné lineární indikace musí být hodnoceny podle stupně 1).

Zkouška prozářením byla provedena podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B. Intenzita zdroje záření byla 200kV/4,5mA, velikost ohniska 2,5x2,5 mm. Použitý film Agfa D5, folie Pb 0,2 mm. Stínění bylo provedeno olovem tloušťky 3 mm. Použité měrky 10 FE EN dle ČSN EN 462-1 [43]. Rozměry filmu: 100x480 mm, ohnisková vzdálenost 800 mm, expozice 10 minut.

Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].

#### Chemické složení svarových kovů

Rozbor chemického složení zkoušeného svarového kovu FOX EV 85  $\varnothing$  2,5 mm (tabulka 9) byl proveden metodou optické emisní spektrometrie, přístroj Spectrolab 2000.

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co
Obsah [%]	0,06	1,83	0,24	0,012	0,005	0,03	1,87	0,44	0,45	0,007

Tabulka 9. Rozbor chemického složení zkoušeného svarového kovu elektrody FOX EV 85  $\varnothing$  2,5 mm

#### Mechanické vlastnosti svarových kovů

Svarové kovy byly zkoušeny v následujícím rozsahu:

R<sub>m</sub> - pevnost v tahu,

R<sub>p0,2</sub> – mez kluzu,

A<sub>5</sub> - tažnost,

Z - kontrakce,

KV, KCV – nárazová práce (vrubová houževnatost).

Pro zkoušení byly použity následující normy:

ČSN EN 10002-5	Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty
ČSN EN ISO 6892-1	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty
ČSN EN 876	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje
ČSN EN 10045-1	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby)
ČSN EN 875	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení

Zkoušení proběhlo při teplotách:   +20 °C  
  +300 °C  
  +350 °C

Rychlost zatěžování při zkoušce tahem byla aplikována v rozmezí 6 až 60 MPa/s, do meze kluzu byla aplikován rychlost max. 5 MPa/s.

Maximální energie kladiva při zkoušce rázem v ohybu činila 300 J.

### **Specifikace mechanických vlastností výrobce přídatného materiálu:**

#### V tepelně nezacovaném stavu:

Zkušební teplota +20°C:

Mez kluzu Rp 0,2 %	≥ 720 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Pevnost v tahu Rm	790-960 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Prodloužení (L=5d)	≥ 16 %
KV (ISO-V vzorky)	≥ 90 Joule

Zkušební teplota +350°C:

Mez kluzu Rp 0,2 %	≥ 600 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Pevnost v tahu Rm	≥ 700 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Prodloužení (L=5d)	≥ 16 %

#### V tepelně zacovaném stavu:

(žiháno na 580°C ±10°C / výdrž 2 hodiny / v peci na 300 ° C / klidné ovzduší)

Zkušební teplota +20°C:

Mez kluzu Rp 0,2 %	≥ 690 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Pevnost v tahu Rm	≥ 760-850 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Prodloužení (L=5d)	≥ 16 %
KV (ISO-V vzorky)	≥ 60 Joule

Zkušební teplota +350°C:

Mez kluzu Rp 0,2 %	≥ 550 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Pevnost v tahu Rm	≥ 650 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Prodloužení (L=5d)	≥ 16 %

## 5.4 Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - mechanické vlastnosti

Výsledky mechanických zkoušek svarového kovu obalené elektrody FOX EV 85 jsou shmuty do tabulek 10 a 12.

Pro porovnání získaných hodnot s hodnotami svarového kovu původní elektrody PT 30 jsou uvedeny tabulky 11 a 13.

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	Rp0,2		Rm		A5		Z	
	[°C]	[MPa]				[%]			
		zkoušky	průměr	zkoušky	průměr	zkoušky	průměr	zkoušky	průměr
<b>TZ1</b>	+20	486	508	711	700	25,2	26,1	42,2	54,7
		538		674		27,4		62,8	
		499		714		25,6		59,0	
	+300	446	455	547	560	22,0	22,7	66,4	67,9
		448		564		23,6		68,6	
		470		570		22,4		68,6	
	+350	460	464	602	586	23,8	23,0	67,5	68,3
		470		587		23,4		67,5	
		463		570		21,8		69,8	
<b>TZ2</b>	+20	633	629	710	714	19,8	22,0	64,0	66,3
		624		708		23,8		66,4	
		630		724		22,4		68,6	
	+300	564	556	624	631	17,2	18,4	60,3	60,7
		549		642		21,0		64,0	
		554		628		17,0		57,8	
	+350	583	557	652	641	18,2	17,3	60,3	60,3
		542		637		16,8		60,3	
		546		633		16,8		60,3	

Tabulka 10. Mechanické vlastnosti zkoušeného svarového kovu elektrody FOX EV 85  $\varnothing$  2,5 mm

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	Rp0,2	Rm	A5	Z
	[°C]	[MPa]		[%]	
TZ1	+20	343	539	16	55
TZ2	+350	294	490	14	50
TZ1: 620°C/15h / 650°C/30h TZ2: 650°C/8h					

Tabulka 11. Mechanické vlastnosti svarového kovu elektrody PT 30

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	KV		KCV	
	[°C]	[J]		[J.cm <sup>-2</sup> ]	
		hodnoty	průměr	hodnoty	průměr
TZ1	+20	134	141	168	176
		153		191	
		136		170	
	-10	124	127	155	159
		130		163	
		126		158	
TZ2	+20	165	161	206	201
		162		203	
		155		194	
	-10	130	130	163	163
		131		164	
		130		163	

**Tabulka 12. Hodnoty nárazové práce a vrubové houževnatosti svarového kovu el. FOX EV 85 Ø2,5 mm**

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	KV		KCV	
	[°C]	[J]		[J.cm <sup>-2</sup> ]	
		hodnoty	průměr	hodnoty	průměr
TZ1	+20	-		49	
TZ2		-			
TZ1: 620°C/15h / 650°C/30h TZ2: 650°C/8h					

**Tabulka 13. Hodnoty nárazové práce a vrubové houževnatosti svarového kovu elektrody PT 30**

Na obrázcích 24 a 25 jsou fotografie vybraných zkušebních tyčí po provedení mechanických zkoušek.



**Obrázek 24. Zkušební tyč po zkoušce tahem**



**Obrázek 25. Zkušební tyč po zkoušce rázem v ohybu**



## 5.5 Elektroda FOX NIBAS 70/20 $\varnothing$ 2,5 mm - zkoušení

### Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky byly provedeny proto, aby byly včas odhaleny případné vady v navařeném kovu, které by mohly ovlivnit výsledky mechanických zkoušek.

Při navařování desek byl kontrolován **vizuálně** povrch každé navařené svarové housenky a povrch návaru každé zkušební desky. Vizualní kontroly byly provedeny podle ČSN EN 970 [22].

Pomocí přídavného osvětlení (halogenová svítilna) bylo dosaženo intenzity osvětlení 720 Lx, ke kontrole byla použita lupa a měrka svarů (obrázek 26).



Obrázek 26. Měrka svarů

Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23].

Všechny zkušební návary svarového kovu byly po svaření kontrolovány v rozsahu 100% penetrační (kapilární) zkouškou a zkouškou prozářením.

**Penetrační (kapilární) zkouška** byla provedena podle ČSN EN 571-1 [24]. Byla použita sada prostředků výrobce Helling (obrázek 27): penetrant U88, rozpouštědlo U87, vývojka U89. Penetrační čas činil 7 minut, vyvíjecí čas 15 minut. Zkušební teplota byla 20°C.

Pomocí přídavného osvětlení (halogenová svítilna) bylo dosaženo intenzity osvětlení 500 Lx. Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň přípustnosti 2X podle ČSN EN 1289 [25] („X“ znamená, že všechny zjištěné lineární indikace musí být hodnoceny podle stupně 1).



Obrázek 27. Sada Helling

**Zkouška prozářením** byla provedena podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B. Intenzita zdroje záření byla 200kV/4,5mA, velikost ohniska 2,5x2,5 mm. Použitý film Agfa D5, folie Pb 0,2 mm. Stínění bylo provedeno olovem tloušťky 3 mm. Použité měrky 10 FE EN dle ČSN EN 462-1 [43] byly přiloženy na prozařovaný povrch. Rozměry filmu: 100x480 mm, ohnisková vzdálenost 800 mm, expozice 13,5 minut.

Po fotochemickém zpracování filmu (vyvolání, ustálení, praní a sušení) byl získaný viditelný negativní obraz (radiogram) prohlížen a analyzován prosvětlením filmu v tzv. negatoskopu (obrázek 28). Jakost obrazu byla ověřena pomocí viditelnosti normovaných drátových měrek. Vyhodnocení bylo provedeno pro požadovaný stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].



Obrázek 28. Negatoskop

### Chemické složení svarových kovů

Rozbor chem. složení zkoušeného svarového kovu FOX NIBAS 70/20 Ø 2,5 mm (tabulka 14) byl proveden metodou optické emisní spektrometrie, na přístroji Spectrolab 2000

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti
Obsah [hm. %]	0,03	5,97	0,4	0,002	0,007	0,02	zbytek	18,73	1,34	<0,02
TDP výrobce	max. 0,03	4,0 6,0	max. 0,4	max. 0,015	max. 0,01	-	min. 63,0	18,0 22,0	0,5 1,5	-
Prvek	Nb	Co	Fe							
Obsah [%]	2,18	<0,04	2,5							
TDP výrobce	2,0 2,5	max. 0,05	2,0 3,5							

Tabulka 14. Rozbor chem. složení zkoušeného svarového kovu elektrody FOX NIBAS 70/20 ø2,5 mm

## Mechanické vlastnosti svarových kovů

Svarové kovy byly zkoušeny v následujícím rozsahu:

R<sub>m</sub> - pevnost v tahu

R<sub>p0,2</sub> – mez kluzu

A<sub>5</sub> - tažnost

Z - kontrakce

KV, KCV – nárazová práce (vrubová houževnatost)

Pro zkoušení byly použity následující normy:

ČSN EN 10002-5	Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty
ČSN EN ISO 6892-1	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty
ČSN EN 876	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje
ČSN EN 10045-1	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby)
ČSN EN 875	Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení

Zkoušení proběhlo při teplotách:   +20   °C  
  +300   °C  
  +350   °C

Rychlost zatěžování při zkoušce tahem byla aplikována v rozmezí 6 až 60 MPa/sec, do meze kluzu byla aplikována rychlost max. 5 MPa/sec.

Maximální energie kladiva při zkoušce rázem v ohybu činila 300J.

### **5.6      *Elektroda FOX NIBAS 70/20 ø 2,5 mm - mechanické vlastnosti***

Výsledky mechanických zkoušek svarového kovu obalené elektrody FOX NIBAS 70/20 ø 2,5 mm jsou shrnuty do tabulek 15 a 17.

Pro porovnání získaných hodnot s hodnotami svarového kovu původní elektrody EA 395/9 jsou uvedeny tabulky 16 a 18.

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	Rp0,2		Rm		A5		Z	
	[°C]	[MPa]				[%]			
		zkoušky	průměr	zkoušky	průměr	zkoušky	průměr	zkoušky	průměr
bez TZ	+20	442	447	691	698	38,2	39,0	49,6	50,1
		454		701		38,4		51,0	
		445		701		40,4		49,6	
	+300	391	390	610	613	38,2	39,5	45,2	45,2
		391		619		39,4		42,2	
		388		609		41,0		48,2	
	+350	388	390	611	604	45,4	41,0	43,8	41,6
		383		594		39,2		46,7	
		400		606		38,4		34,4	
TZ	+20	446	444	735	727	40,6	40,2	43,8	43,3
		443		723		41,6		43,8	
		444		722		38,4		42,2	
	+300	362	360	620	623	39,4	41,3	46,7	44,2
		360		628		42,2		43,8	
		357		620		42,4		42,2	
	+350	362	360	619	626	39,4	40,7	45,2	43,7
		365		634		41,8		43,8	
		353		624		40,8		42,2	

TZ: 620°C/15h / 650°C/30h

Tabulka 15. Mechanické vlastnosti zkoušeného svarového kovu elektrody FOX NIBAS 70/20  $\phi$  2,5 mm

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	Rp0,2	Rm	A5	Z
	[°C]	[MPa]		[%]	
bez TZ	+20	363	608	23	40
	+350	274	490	-	-
TZ	+20	363	588	13	15
	+350	294	490	10	13

TZ: 620°C/15h / 650°C/30h

Tabulka 16. Mechanické vlastnosti svarového kovu EA 395/9

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	KV		KCV		KU		KCU2	
	[°C]	[J]		[J.cm <sup>-2</sup> ]		[J]		[J.cm <sup>-2</sup> ]	
		hodnoty	průměr	hodnoty	průměr	hodnoty	průměr	hodnoty	průměr
bez TZ	+20	127	129	159	162	125	132	156	165
		131		164		136		170	
		130		163		135		169	
TZ	+20	115	118	144	148	146	146	183	183
		130		163		148		181	
		110		138		148		185	
TZ: 620°C/15h / 650°C/30h									

*Tabulka 17. Hodnoty nárazové práce a vrubové houževnatosti svar. kovu FOX NIBAS 70/20 ø 2,5 mm*

Tepelné zpracování	Zkušební teplota	KV	KCV	KU	KCU2
	[°C]	[J]	[J.cm <sup>-2</sup> ]	[J]	[J.cm <sup>-2</sup> ]
bez TZ	+20	-	-	-	118
TZ	+20	-	-	-	39
TZ: 620°C/15h / 650°C/30h					

*Tabulka 18. Hodnoty nárazové práce a vrubové houževnatosti svarového kovu EA 395/9*

### **Stanovení odolnosti proti vzniku teplých trhlin a odolnosti proti MKK**

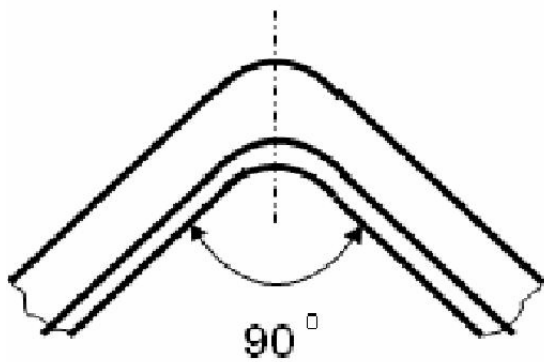
Odolnost proti vzniku teplých trhlin byla posuzována vizuálním hodnocením každé navařované housenky.

Dále byla odolnost proti vzniku teplých trhlin posuzována podle metodiky [12] metalografickým vyhodnocením makrovýbrusů svarových kovů.

Makrostruktura vzorků byla kontrolována po naleptání leptadlem Adler-Mattinga.

Makrostruktura byla vyhodnocena bez vad, trhliny za tepla nebyly zjištěny.

Zkoušení materiálu svarového kovu na odolnost proti mezikrystalové korozi (MKK) bylo provedeno v souladu s normalizovanou metodou podle GOST 6032 [41], metodou AM. Při této metodě jsou vzorky exponovány po dobu 24 hodin v roztoku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CuSO<sub>4</sub> (16 % kyselina sírová a síran měďnatý) za varu cca 103 °C a přítomnosti měděných pilin. Následovala ohybová zkouška (obrázek 29) a vyhodnocení.



*Obrázek 29. Ohybová zkouška*

Po expozici ve zkušebním prostředí a ohybu nebyly u zkušebních vzorků zjištěny příčné trhliny. Materiál svarového kovu elektrody FOX NIBAS 70/20  $\varnothing$  2,5 mm je odolný proti mezikrystalové korozi.

## 6. DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

### 6.1 Elektroda FOX EV 85 $\varnothing$ 2,5 mm - výsledky zkoušek

#### 6.1.1 Nedestruktivní zkoušky

Při svařování byl kontrolován vizuálně povrch každé navařené svarové housenky a po dokončení svařování povrch návaru zkušební desky.

Všechny zkušební návary svarového kovu byly po svaření kontrolovány v rozsahu 100% kapilární zkouškou a zkouškou prozářením.

Vizuální kontrola provedená podle ČSN EN 970 [22] byla vyhodnocena jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23].

Penetrační (kapilární) zkoušky provedené podle ČSN EN 571-1 [24] byly vyhodnoceny jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň přípustnosti 2X podle ČSN EN 1289 [25].

Zkouška prozářením provedená podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B byla vyhodnocena jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].

#### 6.1.2 Chemické složení svarových kovů

Chemické složení svarového kovu elektrody FOX EV 85 ( $\varnothing$  2,5mm) bylo porovnáno se specifikací výrobce (tabulky 19, 20).

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Co
Obsah [%]	0,03÷ 0,10	1,40÷ 2,00	0,10÷ 0,60	max. 0,025	max. 0,020	1,80÷ 2,30	0,30÷ 0,60	0,30÷ 0,60	max. 0,025

Tabulka 19. Specifikace výrobce přídatného materiálu

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Co
Obsah [%]	0,06	1,83	0,24	0,012	0,005	1,87	0,44	0,45	0,007

Tabulka 20. Rozbor chemického složení zkoušeného svarového kovu

Chemické složení svarového kovu elektrody FOX EV 85 ( $\varnothing$  2,5mm) odpovídá specifikaci výrobce. Obsah kobaltu (Co) splňuje kritérium pro jadernou energetiku max. 0,025%.

Výsledky jsou **VYHOVUJÍCÍ**.

### 6.1.3 Mechanické vlastnosti svarových kovů

Porovnání naměřených hodnot  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  a  $Z$  s hodnotami požadovanými pro původní přídatný materiál PT 30 je provedeno v tabulkách 10 a 11.

Porovnání naměřených hodnot  $KV$  a  $KCV$  s hodnotami požadovanými pro původní přídatný materiál PT 30 je provedeno v tabulkách 12 a 13.

Naměřené hodnoty mechanických vlastností  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  splňují při zkušebních teplotách  $+20^\circ\text{C}$ ,  $+300^\circ\text{C}$  a  $+350^\circ\text{C}$  a po obou tepelných zpracováních hodnoty požadované pro původní přídatný materiál PT 30.

Hodnoty kontrakce  $Z$  při zkušebních teplotách  $+300^\circ\text{C}$  a  $+350^\circ\text{C}$  splňují s rezervou hodnoty požadované pro původní přídatný materiál PT 30. Při  $+20^\circ\text{C}$  je požadovaná hodnota 55% podkročena o 0,3%. Naměřené hodnoty jsou podle normy ČSN EN 10 002-1 v mezích přesnosti a byly dosaženy při vyhovující tažnosti a 3x větší hodnotě vrubové houževnatosti  $KCV$  než požaduje původní přídatný materiál PT 30 a při podstatně nižší kritické teplotě křehkosti  $T_{k0}$  než požaduje původní přídatný materiál PT 30. Lze tedy uznat i hodnoty kontrakce  $Z$  při  $+20^\circ\text{C}$  za vyhovující.

Původní přídatný materiál PT 30 požaduje u obou tepelných zpracování minimální hodnotu  $KCV$  při  $+20^\circ\text{C}$   $49 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Požadovaná hodnota je po obou tepelných zpracováních splněna s velkou rezervou.

Zkoušky mechanických vlastností jsou **VYHOVUJÍCÍ**.

## 6.2 Elektroda FOX NIBAS 70/20 $\varnothing 2,5 \text{ mm}$ - výsledky zkoušek

### 6.2.1 Nedestruktivní zkoušky

Při svařování byl kontrolován vizuálně povrch každé navařené svarové housenky a po dokončení svařování povrch návaru zkušební desky.

Všechny zkušební návary svarového kovu byly po svaření kontrolovány v rozsahu 100% kapilární zkouškou a zkouškou prozářením.

Vizuální kontrola provedené podle ČSN EN 970 [22] byly vyhodnoceny jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817 [23].

Penetrační (kapilární) zkoušky provedené podle ČSN EN 571-1 [24] byly vyhodnoceny jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň přípustnosti 2X podle ČSN EN 1289 [25].

Zkouška prozářením provedená podle ČSN EN 1435 [26] ve třídě zkoušení B byla vyhodnocena jako **VYHOVUJÍCÍ** pro požadovaný stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1 [27].



### 6.2.2 Chemické složení svarových kovů

Chemické složení svarového kovu elektrody FOX NIBAS 70/20 ( $\varnothing$  2,5mm) bylo porovnáno se specifikací výrobce (tabulky 21, 22).

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	Co	Fe
Obsah [hm. %]	max. 0,03	4,0 6,0	max. 0,4	max. 0,015	max. 0,01	-	min. 63,0	18,0 22,0	0,5 1,5	-	2,0 2,5	max. 0,05	2,0 3,5

Tabulka 21. Specifikace výrobce přídavného materiálu

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	Co	Fe
Obsah [hm. %]	0,03	5,97	0,4	0,002	0,007	0,02	zbytek	18,73	1,34	<0,02	2,18	<0,04	2,5

Tabulka 22. Rozbor chemického složení zkoušeného svarového kovu FOX NIBAS 70/20  $\varnothing$  2,5 mm

Chemické složení svarového kovu elektrody FOX NIBAS 70/20 ( $\varnothing$  2,5mm) odpovídá specifikaci výrobce. Obsah kobaltu (Co) je v souladu s chemickým složením původního přídavného materiálu omezen hodnotou max. 0,05%.

Výsledky jsou **VYHOVUJÍCÍ**.

### 6.2.3 Mechanické vlastnosti svarových kovů

Porovnání naměřených hodnot  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  a  $Z$  s hodnotami požadovanými pro původní přídavný materiál EA 395/9 je provedeno v tabulkách 15 a 16.

Porovnání naměřených hodnot KCV a KCU2 s hodnotami KCU2 požadovanými pro původní přídavný materiál EA 395/9 je provedeno v tabulkách 17 a 18.

Naměřené hodnoty mechanických vlastností  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$ , KCV a KCU2 svarového kovu splňují s velkou rezervou při zkušebních teplotách +20°C, +300°C a +350°C jak ve stavu po svaření, tak i ve stavu po dlouhodobém žhání 620°C/25h / 650°C/20h hodnoty požadované pro původní přídavný materiál EA 395/9.

Hodnoty kontrakce  $Z$  při zkušební teplotě +20°C splňují hodnoty požadované pro původní přídavný materiál EA 395/9. Při zkušebních teplotách +300°C a +350°C jsou však naměřené hodnoty kontrakce ve stavu po svaření a ve stavu po tepelném zpracování přibližně 3x vyšší než hodnoty požadované pro původní přídavný materiál EA 395/9. Naměřené hodnoty tažnosti a vrubové houževnatosti považují za dostatečný důkaz plastických vlastností svarového kovu.

Výsledky zkoušek mechanických vlastností jsou **VYHOVUJÍCÍ**.

#### **6.2.4 Stanovení odolnosti proti vzniku teplotních trhlin a odolnosti proti MKK**

Odolnost proti vzniku teplotních trhlin byla posuzována vizuálním hodnocením každé navařované housenky. Dále byla odolnost proti vzniku teplotních trhlin posuzována podle metodiky [12] metalografickým vyhodnocením makrovýbrusů svarových kovů. Makrostruktura byla vyhodnocena bez vad, trhliny za tepla nebyly zjištěny.

Při vyhodnocení zkoušeného materiálu svarového kovu na odolnost proti mezikrystalové korozi (MKK) byla konstatována vysoká odolnost proti MKK.

Výsledky zkoušek jsou **VYHOVUJÍCÍ**.

## 7. ZÁVĚR

Přídavné svařovací materiály musí být dle ČSN EN 1011-1 [46] voleny s ohledem na jejich konkrétní použití, např. tvar spoje, polohu svařování a požadované vlastnosti vyhovující provozním podmínkám.

Hlavním tématem předkládané bakalářské práce jsou zkoušky vlastností svarových kovů dvou typů obalovaných svařovacích elektrod a vyhodnocení zjištěných vlastností. Elektrody byly vybrány jako možné náhrady za původní přídavné materiály pro svařování určené projektem pro výstavbu jaderné elektrárny.

Bakalářská práce obsahuje informace o vlastnostech svarových kovů původních přídavných materiálů. Zdrojem pro tyto informace se staly materiálové listy. Materiálové listy obsahují i podmínky, za kterých zjišťování vlastností probíhalo. Při zjišťování vlastností svarových kovů zvolených náhrad bylo nutno použít, pro objektivní posouzení a porovnání vlastností, stejné nebo alespoň podobné metodiky a postupy spolu s respektováním požadavků aktuálních technických norem. Postupy při stanovení vlastností svarových kovů byly stanoveny tak, aby byly splněny i podmínky a požadavky předepsané stávající legislativou České republiky.

Zpracování bakalářské práce bylo rozděleno do několika navazujících dílčích etap a činností:

1. seznámení se s problematikou přídavných materiálů v jaderné energetice,
2. výběr a zjištění vlastností původních přídavných materiálů,
3. výběr náhrad přídavných materiálů,
4. stanovení programů pro zjišťování vlastností náhrad,
5. příprava a výroba zkušebních těles,
6. provedení vlastních zkoušek a zjištění vlastností svarových kovů,
7. vyhodnocení vlastností svarových kovů náhrad a porovnání s vlastnostmi svarových kovů původních přídavných materiálů.

Při plnění cílů jednotlivých dílčích etap a činností bylo nutné využít rozmanité teoretické vědomosti a uplatnit širokou škálu dovedností praktických. Potvrdilo se, že proces svařování je komplexním výrobním procesem a řešení zadaného úkolu vyžadovalo systémový přístup. Bylo možno využít znalosti načerpané studiem, ale praktická aplikace znamenala neocenitelný přínos pro důkladné pochopení teorie několika oborů. V rozsahu zpracovávané práce bylo nutno konzultovat některá specifika s mnoha odborníky a využít jejich zkušeností.

Závěrem je možné říci, že výsledky zkoušek provedených podle stanovených programů jsou vyhovující a vlastnosti svarových kovů zvolených náhrad splňují požadavky na vlastnosti svarových kovů původních přídavných materiálů. Na základě provedených zkoušek ovšem nelze stanovit vlastnosti svarových spojů, pro které budou zkoušené náhrady použity.

## SEZNAM LITERATURY

[1]	Asociace Strojních Inženýrů. Normativně Technická Dokumentace Asociace Strojních Inženýrů, SEKCE I. Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER. Praha, 2010.
[2]	Основные положения по сварке и наплавке узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок. ОП 1513-72. М.: "Металлургия", 1975 г. ОП 1513-72. Hlavní ustanovení týkající se svařování a navařování dílů a konstrukcí jaderných elektráren, experimentálních a výzkumných jaderných reaktorů a zařízení (překlad z ruského jazyka) Metallurgia, Moskva, 1975.
[3]	Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов конструкций энергетических установок атомного энергомашиностроения. ПК 1514-72. М.: "Металлургия", 1974 г. PK 1514-72 Pravidla kontroly svarových spojů a návarů uzlů a konstrukcí jaderných elektráren, zkušebních a výzkumných jaderných reaktorů a zařízení (překlad z ruského jazyka) Metallurgia, Moskva, 1974.
[4]	Vyhláška ČÚBP č. 76/1989 Sb. k zajištění bezpečnosti technických zařízení v jaderné energetice.
[5]	Vyhláška SÚJB č. 214/1997 Sb. o zabezpečování jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostech vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd.
[6]	Vyhláška č. 309/2005 Sb., o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení.
[7]	Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.
[8]	DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
[9]	Svářečská škola BAHR v.o.s., Metody svařování dle ČSN EN ISO 4063 (05 0011) [online]. 1. února 2012. Dostupné z: <a href="http://bahr.kahstudio.cz/met_csn.php">http://bahr.kahstudio.cz/met_csn.php</a>
[10]	Hlavatý, I. <i>Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou - 111</i> . Ostrava, VŠB - Technická univerzita, 2010 [online]. 1. února 2012. Dostupné z: <a href="http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/05-111.pdf">http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/05-111.pdf</a>
[11]	Svářečská škola při VOŠ a SOŠT v Litomyšli, Kurs Obalená elektroda [online]. 5. února 2012. Dostupné z: <a href="http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20elektroda.pdf">http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20elektroda.pdf</a>
[12]	PN ŽAZ 312-1-87. Podniková norma. Svařovací materiály pro výrobu, montáž a opravy jaderných energetických zařízení, ŽAZ, Vamberk, 1987.
[13]	TP ŽAZ E 1020 Technické podmínky. Svařovací elektrody. (součástí [12]). ŽAZ, Vamberk, 1987.
[14]	ČSN EN ISO 4063. Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování. Praha: Český normalizační institut, 2011.
[15]	ASME Section 2 Part C. Specifications for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals 2007. ASME Oddíl 2 Část C. Specifikace pro svařování tyče, elektrody a přídavné kovy. 2007
[16]	KTA 1408.1. Qualitätssicherung von Schweißzusätzen und -hilfsstoffen für druck- und aktivitäts-führende Komponenten in Kernkraftwerken Teil 1: Eignungsprüfung. Köln: Deutschland / Bundesministerium der Justiz ; Deutschland. 2008.

	KTA 1408.1. Zajištění kvality svařovacích materiálů a pomocných materiálů pro tlakové a aktivní pojistné systémy v jaderných elektrárnách. Část 1: Kvalifikační zkoušky. Kolín nad Rýnem: Německo / Spolkové ministerstvo spravedlnosti, Německo. 2008.
[17]	ČSN EN ISO 9001. Systémy managementu kvality – Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2009.
[18]	Materiálový list č. E 3.0 k [13]. ŽAZ, Vamberk, 1987.
[19]	Materiálový list č. E 8.0 k [13]. ŽAZ, Vamberk, 1987.
[20]	ČSN EN 757. Svařovací materiály - Obalené elektrody pro ruční obloukové svařování vysokopevnostních ocelí – Klasifikace. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[21]	ČSN EN ISO 15792-1. Svařovací materiály - Zkušební metody - Část 1: Zkušební metody pro zkušební vzorky z čistých svarových kovů z oceli, niklu a slitin niklu. Praha: Český normalizační institut, 2008.
[22]	ČSN EN 970. Nedestruktivní zkoušení tavných svarů - Vizuální kontrola. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[23]	ČSN EN ISO 5817. Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality. Praha: Český normalizační institut, 2008.
[24]	ČSN EN 571-1. Nedestruktivní zkoušení - Kapilární zkouška - Část 1: Obecné zásady. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[25]	ČSN EN 1289. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů kapilární metodou - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 1999.
[26]	ČSN EN 1435. Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů. Praha: Český normalizační institut, 1999.
[27]	ČSN EN 12517-1. Nedestruktivní zkoušení svarů - Část 1: Hodnocení svarových spojů u oceli, niklu, titanu a jejich slitin při radiografickém zkoušení - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 2006.
[28]	ČSN EN ISO 14172. Svařovací materiály - Obalené elektrody pro ruční obloukové svařování niklu a slitin niklu – Klasifikace. Praha: Český normalizační institut, 2009.
[29]	ČSN EN ISO 23277. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů kapilární metodou - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 2010.
[30]	TNI CEN ISO/TR 15608. Svařování - Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin. Praha: Český normalizační institut, 2008.
[31]	ČSN EN ISO 6947. Svařování a příbuzné procesy - Polohy svařování. Praha: Český normalizační institut, 1999.
[32]	AWS A5.5-06 FILLER METAL SPECIFICATION: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. American Welding Society, 2006. AWS A5.5-06 Specifikace přídavného kovu: spec. pro elektrody z nízkolegované oceli pro ruční obloukové svařování obalenou elektrodou. Americká svářečská společnost, 2006.
[33]	AWS A5.11 Specification for Nickel and Nickel Alloy Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. American Welding Society, 2010. AWS A5.11 Specifikace pro svařovací elektrody z niklu a slitin niklu pro ruční obloukové svařování obalenou elektrodou. Americká svářečská společnost, 2010.
[34]	ČSN EN 12062. Nedestruktivní zkoušení svarů - Obecná pravidla pro kovové materiály. Praha: Český normalizační institut, 1999.
[35]	ČSN EN 10002-1. Kovové materiály. Zkouška tahem. Část 1: Zkouška tahem za okolní teploty. Praha: Český normalizační institut, 2002.
[36]	ČSN EN 10002-5. Kovové materiály. Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za

	zvýšené teploty. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[37]	ČSN EN ISO 6892-1. Kovové materiály. Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty. Praha: Český normalizační institut, 2010.
[38]	ČSN EN 876. Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[39]	ČSN EN 10045-1. Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby). Praha: Český normalizační institut, 1998.
[40]	ČSN EN 875. Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení. Praha: Český normalizační institut, 1998.
[41]	ГОСТ 6032. Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытаний на стойкость к межкристаллитной коррозии. Межгосударственный Совет По Стандартизации, Метрологии И Сертификации. Белоруссия, Минск, 2003. GOST 6032. Oceli a slitiny odolné proti korozi. Metody zkoušení odolnosti proti mezikrystalové korozi. Federální rada pro technickou normalizaci, metrologii a certifikaci. Bělorusko, Minsk, 2003.
[42]	ČSN EN ISO 8249. Svařování - Stanovení Feritového čísla (FN) svarového kovu austenitických a duplexních feriticko-austenitických Cr-Ni korozivzdorných ocelí. Praha: Český normalizační institut, 2002.
[43]	ČSN EN 462-1. Nedestruktivní zkoušení. Jakost radiogramů. Část 1: Měrka jakosti obrazu (drátková měrka). Stanovení hodnoty jakosti obrazu. Praha: Český normalizační institut, 1996.
[44]	ČSN EN 10088-1. Korozivzdorné oceli - Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí. Praha: Český normalizační institut, 2005.
[45]	BÖHLER UDDEHOLM CZ s. r. o., SVAŘOVACÍ MATERIÁLY BÖHLER WELDING [online]. 14. února 2012. Dostupné z: <a href="http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Svary_oceli_Bohler_stare.pdf">http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Svary_oceli_Bohler_stare.pdf</a>
[46]	ČSN EN 1011-1. Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování. Praha: Český normalizační institut, 2009.

## Další použité zdroje

MINAŘÍK, V. Přehled metod svařování. Zeross Ostrava, 1998.

MINAŘÍK, V. Obloukové svařování. Scientia, Praha 1998.

Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení (Učební texty pro kurzy IWE, IWT). Ostrava, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.

ČADA, Z. Strojírenská technologie II., první vydání, Praha 2000, ISBN 80-86065-10-3