



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# PROTIKOROZNÍ OCHRANA POVRCHU U ROTORŮ PARNÍCH TURBÍN

ANTICORROSIVE PROTECTION OF STEAM TURBINES ROTORS SURFACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETRA ŠPIČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV DANĚK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Petra Špičková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Protikorozi ochrana povrchu u rotorů parních turbín**

v anglickém jazyce:

### **Anticorrosive protection of steam turbines rotors surface**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Experimentální práce. Řešitel bude na vzorcích dodaných firmou SIEMENS optimalizovat jak metodu a parametry navařování, tak výběr přídavných materiálů

Cíle diplomové práce:

Optimalizace technologie navařování protikorozi a erozních vrstev u výstupních částí nízkotlaké sekce rotoru parních turbín na základě analýzy možnosti vzniku podnávarových trhlin.

Seznam odborné literatury:

PTÁČEK, L. a kolektiv. Nauka o materiálu II.2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.

KOUKAL, J., SCHWARZ, D. a HAJDÍK, J. Materiály a jejich svařitelnost. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.

Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.

ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6. USA: ASM, 2003. 1298 s. ISBN 0-87170-382-3.

Příručka pro svařování pod tavidlem. ESAB Vamberk, spol. s r.o. 2009

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

ŠPIČKOVÁ Petra: Protikoroziční ochrana povrchu u rotorů parních turbín.

---

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru 2307 předkládá návrh protikoroziční ochrany povrchu rotorů parních turbín. Na základě literární studie problematiky svařování a navařování automaticky pod tavidlem bude navržena optimalizace technologie navařování protikorozičních a protierozních vrstev u výstupních částí nízkotlaké sekce rotorů parních turbín. Daná optimalizace technologie navařování se provede s ohledem na potlačení možnosti vzniku podnávarových trhlin při aplikaci protikorozičního ochranného návaru a provede se na zkušebních vzorcích dodaných firmou SIEMENS.

Klíčová slova: svařování, navařování, optimalizace, parní turbína, rotor, protikoroziční ochrana

## **ABSTRACT**

ŠPIČKOVÁ Petra: Anticorrosive protection of steam turbines rotors surface.

---

This project was elaborated under the graduate major program 2307 of masters engineering studies. It presents a proposal of anticorrosive protection of steam turbines rotors surface. Based on a literature recherche on automated welding and surfacing under flux, an optimized technology of surfacing of anticorrosive and antierosive layers at output parts of low-pressure sections of rotors will be presented. The optimization of the welding technology will be performed to minimize the possibility of hidden cracks due to application of anticorrosive protective surface and will be evaluated on test samples provided by the company SIEMENS.

Keywords: Welding, Surfacing, Optimization, Steam turbine, Rotor, Anticorrosive protection

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠPIČKOVÁ, P. *Protikoroziční ochrana povrchu u rotorů parních turbín*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 51 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc..

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

Ve Velké Bíteši dne 27. 5. 2011

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Daňkovi CSc. a panu Drahoslavu Kučerovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a paní Jarmile Houdkové a panu Vojtěchu Řiháčkovi za pomoc při zpracování vzorků.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	10
<b>2 SVAŘOVACÍ METODY VHODNÉ PRO NAVAŘOVÁNÍ</b> .....	11
2.1 Svařování metodou TIG.....	11
2.2 Svařování metodou MIG/MAG.....	11
2.3 Svařování obalenou elektrodou.....	12
2.4 Svařování automaticky pod tavidlem.....	13
2.4.1 Charakteristika metody .....	13
2.4.2 Systém regulace svařovacího procesu.....	15
2.4.3 Technologické parametry svařování.....	16
2.4.4 Přídavné materiály pro svařování.....	18
2.4.5 Manipulace s tavidly a jejich skladování.....	20
2.4.6 Kombinace drát a tavidlo.....	20
<b>3 NAVAŘOVÁNÍ</b> .....	21
<b>3.1 Možnosti poškození</b> .....	22
3.1.1 Kavitační proces.....	22
3.1.2 Korozní proces.....	23
3.1.3 Podnávarové trhliny .....	25
<b>4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	27
<b>4.1 Svařovací zařízení</b> .....	27
<b>4.2 Experimentální materiál</b> .....	28
4.2.1 Základní materiál.....	28
4.2.2 Přídavný materiál.....	29
<b>4.3 Návrh a provedení experimentu</b> .....	32
<b>4.4 Dosažené výsledky</b> .....	34

4.4.1 Metalografie.....	34
4.4.2 Měření tvrdosti.....	38
<b>4.5 Shrnutí výsledků - optimalizace.....</b>	<b>42</b>
<b>4.6 Bezpečnostní a hygienická opatření.....</b>	<b>42</b>
4.6.1 Druhy nebezpečí .....	42
4.6.2 Ohrožení zdraví škodlivinami... ..	43
<b>5 ZÁVĚRY .....</b>	<b>44</b>

**Seznam použitých zdrojů**

**Seznam použitých symbolů a zkratk**

**Seznam příloh**

## 1 ÚVOD [1]

Úspěch výroby svařovaných rotorů spočívá v rozsáhlé výzkumně vývojové práci, což souvisí např. s návrhem a ověřením konkrétního základního materiálu či návrhem technologie svařování. Před samotnou výrobou je třeba zajistit technologické vybavení a zároveň vyškolení obsluhy. Z těchto důvodů se řadí výroba svařovaných rotorů mezi časově i finančně náročné a jejich výrobu si můžou dovolit jen přední výrobci.

Svařované rotory turbín se v současnosti používají nejen u plynových a parních turbín různých výkonů, ale i u velkých turbokompresorů, u některých typů leteckých motorů a v turbodmychadlech automobilových motorů.

Hlavními důvody používání svařovaných rotorů jsou především nové funkční a konstrukční požadavky, vyšší pevnostní požadavky na materiál a omezené technologické možnosti výrobců kovaných polotovarů rotorů.

Pro vysoko a středotlaké sekce turbíny se používají především drahé oceli, proto je z ekonomického hlediska výhodné použít pro nižší stupeň turbíny levnější materiál. Ten i přes svou nízkou cenu vyhovuje funkčním požadavkům z hlediska mechanických a chemických vlastností materiálu.

Diplomová práce se zabývá optimalizací technologie navařování protikorozních a protierozních vrstev u výstupních částí nízkotlaké sekce rotoru parních turbín (viz obr 1.1). Nízkotlaká sekce turbíny pracuje s vlhkou parou, která zde kondenzuje a způsobuje korozi. Daná optimalizace technologie navařování se provede s ohledem na možnosti potlačení vzniku podnávarových trhlin při aplikaci protikorozního ochranného návaru.



Obr. 1.1 Detailní pohled na rotor nízkotlaké parní turbíny [2]

## 2 SVAŘOVACÍ METODY VHODNÉ PRO NAVAŘOVÁNÍ

[3],[4],[5],[6],[7]

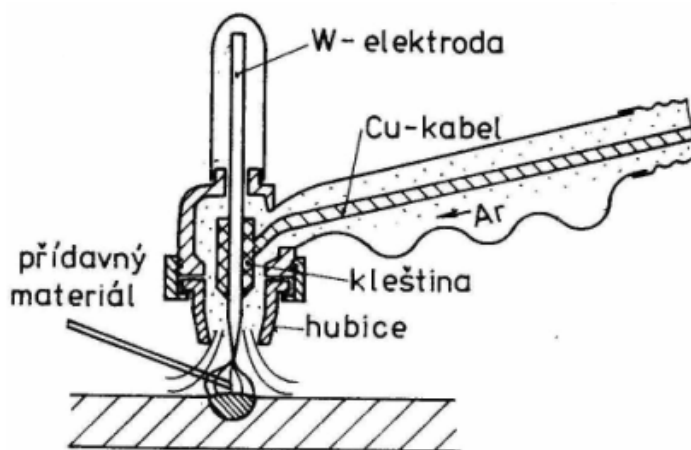
Metody pro navařování jsou shodné s metodami svařovacími. Může to být mimo jiné svařování metodou TIG, MIG/MAG svařování, svařování obalenou elektrodou či svařování automaticky pod tavidlem. Dané metody budou v následujících podkapitolách stručně popsány.

### 2.1 Svařování metodou TIG [3]

TIG – Tungsten Inert Gas. Znakem metody je oblouk, který hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Je chráněn inertním plynem, převážně argonem, vyjimečně heliem, dusíkem či směsnými plyny Ar–He, atd. Princip metody je zobrazen na obr. 2.1.

Ochranný plyn musí mít dostatečnou čistotu a rychlost proudění. Nedostatečné množství plynu nestačí zabránit styku vzduchu s tekutým kovem. Naopak při nadměrné rychlosti proudění vzniká vlivem turbulencí podtlak, ochranný plyn přisává vzduch, a tím se svar opět znehodnotí.

Metoda TIG má nízkou účinnost přenosu tepla (cca 60 %) a omezené proudové zatížení elektrody. To má za následek její nízkou produktivitu. Naopak předností je dobrá kvalita svarů a možnost svařovat i obtížně svařitelné materiály (Ti apod.).



Obr. 2.1 Princip zařízení pro TIG [3]

### 2.2 Svařování metodou MIG/MAG [3],[4]

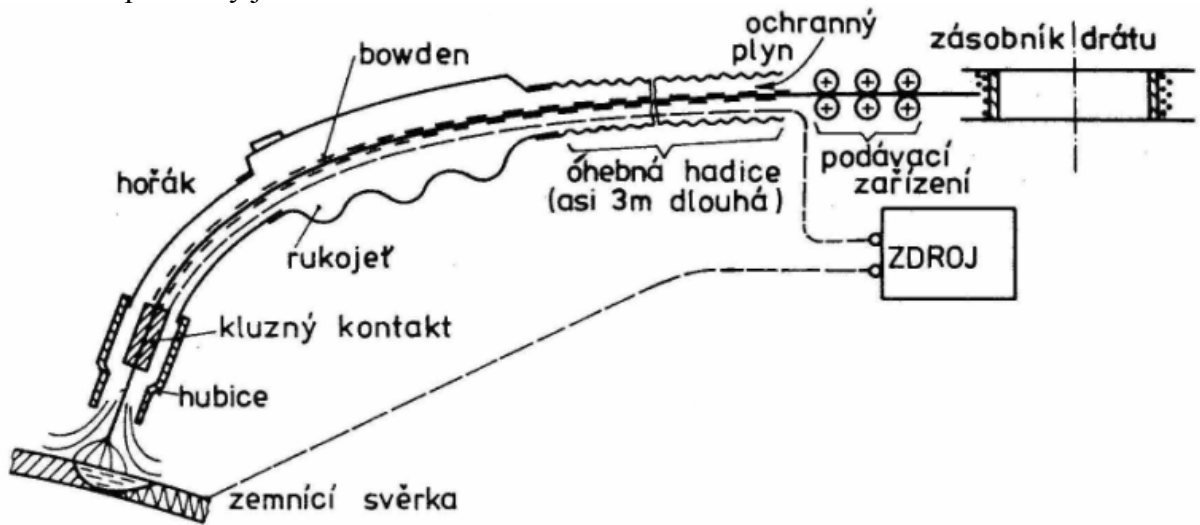
MIG – Metal Inert Gas, MAG – Metal Aktiv Gas jsou metody obloukového svařování v ochranné atmosféře. Tyto metody se liší pouze druhem ochranného plynu. Vznikly jako kombinace svařování pod tavidlem a svařování TIG.

Při svařování MIG/MAG splňuje elektroda zároveň funkci nositele oblouku i přídavného materiálu. Svařovací drát se zavádí přes posuvové kladky do svařovacího hořáku, kde v kontaktní trubici dojde k přestupu proudu. Volný konec drátu je obklopen plynovou hubicí. Ochranný plyn, který z ní proudí, brání chemickým reakcím žhavého povrchu součásti s okolním prostředím. Tím se zachová pevnost a houževnatost svarového kovu.

Podoba housenky závisí na chování oblouku, na tavicím výkonu, ale také na ochranném plynu. Ochranný plyn se užívá různého typu. Pro svařování hliníku, titanu či jiných reaktivních kovů se používají **inertní plyny** (argon, helium, jejich směsi). Naopak pro svařování ocelí se používají **aktivní plyny**, tj. argon s příměsí 2 – 5 % O<sub>2</sub> nebo do 15 % CO<sub>2</sub>, běžný je však i čistý CO<sub>2</sub>. Tyto plyny snadno reagují a jsou vhodné pro nerezavějící, vysokolegované oceli, ale i pro nízko či nelegované oceli.

MIG/MAG svařování vykazuje proti ostatním svařovacím metodám významné rozdíly. Např. dostatečný tavní výkon, hluboký závar, snadná manipulace s možností kompletní mechanizace, vysoký stupeň hospodárnosti.

Princip metody je zobrazen na obr. 2.2.



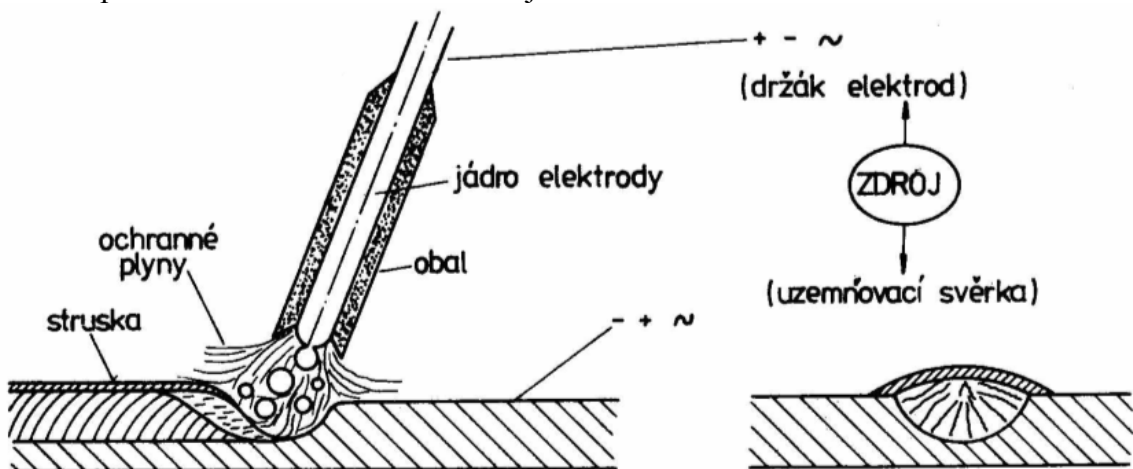
Obr. 2.2 Princip zařízení pro MIG/MAG [3]

### 2.3 Svařování obalenou elektrodou [3]

U této metody hoří oblouk mezi základním materiálem a kovovou obalenou elektrodou. Elektroda se odtavuje a poskytuje přídavný materiál. Svařovací proud může být stejnosměrný i střídavý.

Teplem elektrického oblouku se taví základní materiál i jádro elektrody včetně obalu. Tlakem oblouku se tvoří prohlubeň v tavné lázni, a tím se dosahuje potřebného průvaru. Při svařování se musí dodržovat konstantní délka oblouku (přibližně stejná jako průměr jádra elektrody). Nebezpečný je dlouhý oblouk, kdy hrozí reakce kovu se vzduchem, ale i krátký oblouk, kdy je svar nevzhledný a struska nedostatečně reaguje s tavnou lázní. Kvalita svaru je závislá na zručnosti a svědomitosti operátora. Při nízkém proudu je oblouk nestabilní a zhasíná. Při vysokém proudu se elektroda žhaví a svar může být pórovitý.

Princip svařování obalenou elektrodou je na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Princip svařování obalenou elektrodou [3]

## 2.4 Svařování automaticky pod tavidlem

Nejvýhodnější metodou pro dané zadání je navařování automaticky pod tavidlem. Je nejvhodnější pro svůj nejkratší svařovací čas a nejvyšší výkon.

### 2.4.1 Charakteristika metody [5],[6]

Při svařování automaticky pod tavidlem (svařování APT nebo také SAW – submerged arc welding) vzniká teplo potřebné k roztavení přídavného i základního materiálu elektrickým obloukem, který hoří mezi elektrodou (drátem) a základním materiálem. Vrstva zrnitého minerálního materiálu (tavidla) pokrývá konec svařovacího drátu s hořícím obloukem i okolí základního materiálu. Není zde vidět žádný oblouk, jiskry či dým, ani rozstřík po svařování. Elektrodou může být plný drát, plněná elektroda či svařovací páska. Tato metoda byla vyvinuta za účelem zvýšení množství odtavovaného svarového kovu.

Svařování APT je především mechanizovaný svařovací proces. Profil svarové housenky, hloubku průvaru i chemické složení svarového kovu ovlivňují svařovací proud, napětí na oblouku a svařovací rychlost. Protože operátor nemůže ovlivnit svařovací lázeň, je důležité seřízení a polohování elektrody.

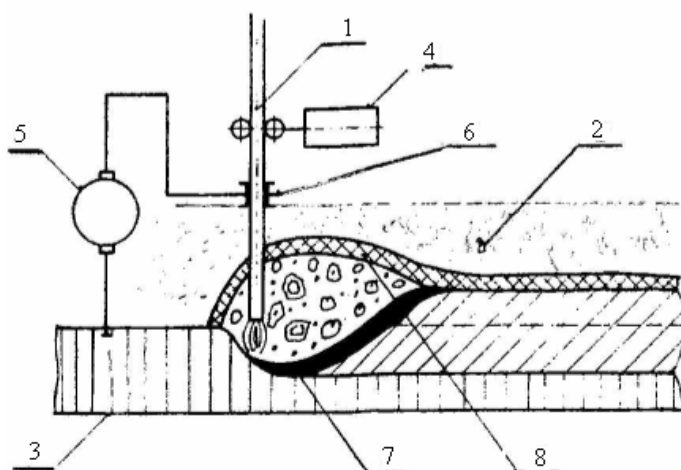
Tuto metodu lze charakterizovat také takto:

- poloha svařování: vodorovná shora PA (nebo mírně skloněná cca do  $7^\circ$  od této polohy),
- minimální ekonomická délka svaru je nad 1000 mm,
- rozsah tloušťek základního materiálu je 3 – 100 mm,
- rozsah používaného svařovacího proudu 200 – 2000 A,
- rozsah napětí na oblouku 20 až 50 V,
- rozsah svařovací rychlosti je 15 – 120  $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,
- svařovací proud je střídavý i stejnosměrný,
- průřez přídavného materiálu je 3 – 50  $\text{mm}^2$ .

### Princip metody svařování APT

Jde o svařování elektrickým obloukem holou elektrodou neomezené délky pod ochrannou vrstvou tavidla. Podle toho, jestli se celé podávací zařízení s přídavným drátem a tavidlem pohybuje ručně či automaticky po dráze určitou rychlostí, se dá mluvit buď o poloautomatickém či automatickém svařování pod tavidlem. Při ručním svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou se proudová hustota pohybuje maximálně kolem 15  $\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Oproti tomu při svařování elektrickým obloukem pod tavidlem činí tato hodnota až 90  $\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$ .

Schematické znázornění metody svařování elektrickým obloukem pod tavidlem lze vidět na obr. 2.4.



- 1 – svařovací drát
- 2 – tavidlo
- 3 – základní materiál
- 4 – podávací mech. svař. drátu
- 5 – zdroj svař. proudu
- 6 – přívod proudu do elektrody
- 7 – roztavený svarový kov
- 8 – roztavená struska

Obr. 2.4 Schematické znázornění metody APT [5]

Podavač tavidla s podávací trubicí musí zajistit průběžnou dodávku tavidla v nepřerušené vrstvě a v blízké vzdálenosti od oblasti svařování. Vzniká trvalý elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a základním materiálem.

Velké množství tepla, které vzniká průchodem elektrického proudu svařovací oblastí, taví konec svařovacího drátu v přilehlé oblasti základního materiálu a tvoří roztavený svarový kov. Při svařování APT je tavná lázeň chráněna před kontaktem s okolní atmosférou vrstvou tavidla.

Tak, jak se pohybuje svařovaná oblast podél svařovaného spoje, roztavené tavidlo chladne do tvrdé a křehké sklovité vrstvy. Ta chrání svar po dobu chladnutí, a poté se zcela odstraní.

#### Výhody svařování APT:

- vysoká produktivita svařování (2 – 5x vyšší proti svařování obalenou elektrodou),
- velký průvar do základního materiálu,
- velká proudová hustota u tenkých svařovacích drátů,
- možnost snížení velikosti koutových svarů ve srovnání s ručním svařováním elektrickým obloukem (až o 25 %),
- zvýšená kvalita svarů.

#### Nevýhody svařování APT:

- zvýšené nároky na přípravu svarových ploch a jejich čistotu,
- široká tepelně ovlivněná oblast (dále TOO),
- zakrytý svařovací proces a obtížnost jeho kontroly,
- možnost svařování pouze v polohách PA nebo PB dle ČSN EN ISO 6947.

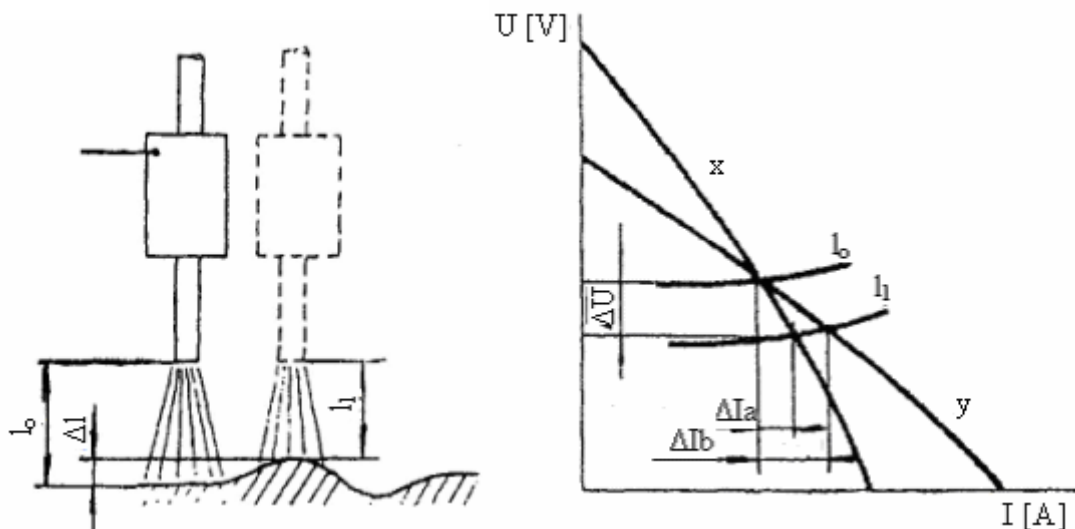
#### Zařízení

Vysoká svařovací rychlost a vysoký výkon navaření jsou charakteristické pro svařování APT. Vyžadují automatické řízení motoru, který zajišťuje podávání svařovacího drátu do svaru. Ručním svařováním není možné zajistit dostatečně vysokou rychlost podávání drátu do tavné lázně. Také se nedá zajistit přesné řízení svařovacích parametrů svařování. Proto automatické řízení a dobrý podávací systém u metody svařování APT udržuje v průběhu svařování konstantní proud a napětí.

## 2.4.2 Systém regulace svařovacího procesu [5]

Délka elektrického oblouku se mění v důsledku nerovností povrchu a každá tato změna působí změnu napětí na oblouku. Ty probíhají velmi rychle a je třeba vytvořit takové regulační podmínky pro udržení stability hoření oblouku, které jsou schopny eliminovat tyto výkyvy délky elektrického oblouku.

- Regulace statickou charakteristikou svařovacího zdroje (samoregulace)* spočívá v tom, že změna napětí na oblouku vyvolá tak výraznou změnu svařovacího proudu, že je tato schopna urychlit či zpomalit odtavování svařovacího drátu, a tím upravit jeho délku na původní hodnotu. Plochá statická charakteristika způsobuje velkou změnu svařovacího proudu při malých změnách napětí. Mechanismus regulace je znázorněn na obr 2.5. Samoregulace se někdy nazývá regulací s konstantním podáváním přídavného materiálu (drátu).
- Regulace pomocí Ward-Leonardova zapojení elektromotorů* spočívá ve změně otáček elektromotoru pohánějícího podávací zařízení pro podávání přídavného materiálu v závislosti na změně napětí na oblouku.
- Elektrická automatická regulace.* Mezi oblouk a kotvu pohonného elektromotoru přídavného materiálu je vložen elektronický zesilovač. Zesilovací člen tvoří tyratrony, které se uvádí do činnosti změnou napětí na mřížce tyratronu.
- Regulace magnetickými zesilovači.* Podobný princip jako u regulace c).

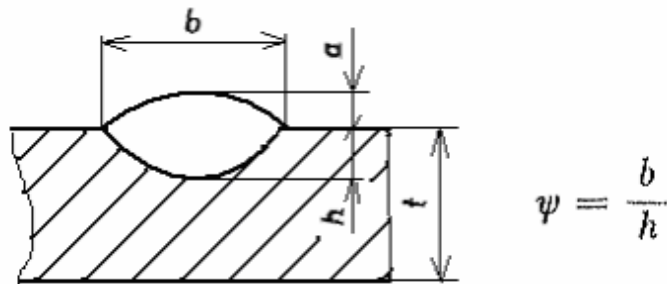


- $l_0$  – ustálená délka oblouku
- $l_1$  – změněná délka oblouku
- $\Delta l$  – změna délky oblouku
- $x$  – strmá charakteristika (vhodnější pro ruční svařování)
- $y$  – plochá charakteristika (vhodná pro automatické svařování)
- $\Delta U$  – rozdíl napětí
- $\Delta I_a$  – rozdíl proudů u strmé charakteristiky
- $\Delta I_b$  – rozdíl proudů u ploché charakteristiky

Obr. 2.5 Mechanismus regulace plochou statickou charakteristikou [5]

### 2.4.3 Technologické parametry svařování [5]

Technologické parametry svařování APT výrazně ovlivňují formu svaru viz obr. 2.6. Jde o tyto charakteristické rozměry svaru:



- $h$  – hloubka závaru do základního materiálu [mm]
- $a$  – převýšení [mm]
- $b$  – šířku svaru [mm]
- $t$  – tloušťka materiálu [mm]
- $\psi$  – součinitel formy svaru [-]

Obr. 2.6 Charakteristické rozměry svaru [5]

Na součiniteli formy svaru  $\psi$  závisí chemické složení, struktura a mechanické vlastnosti svarového spoje. Hlavní vliv na rozměry svaru a formu svaru má množství uvolněného tepla v elektrickém oblouku, které je funkcí svařovacího proudu, svařovacího napětí a rychlosti svařování.

Hlavní parametry:

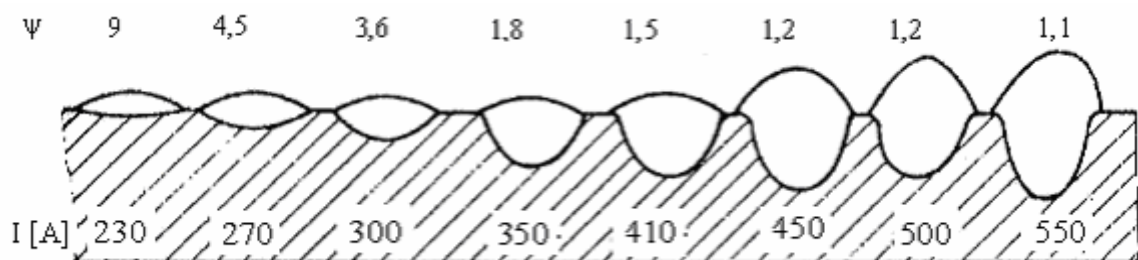
- svařovací proud  $I$  [A],
- napětí na oblouku  $U$  [V],
- rychlost svařování  $v_s$  [ $m \cdot h^{-1}$ ].

Vedlejší parametry:

- průměr svařovacího drátu [mm],
- sklon elektrody [ $^\circ$ ],
- sklon základního materiálu [ $^\circ$ ],
- vyložení svařovacího drátu (výlet elektrody) [mm],
- charakter svařovacího proudu a jeho polarita,
- druh tavidla a jeho zrnitost.

#### Vliv svařovacího proudu

Intenzita svařovacího proudu přímo úměrně ovlivňuje množství nataveného kovu. Vzniká hlubší průvar do základního materiálu a zmenšuje se součinitel formy svaru  $\psi$ . Převýšení svarového kovu se zvyšuje. Závislost velikosti svařovacího proudu na formě svaru je znázorněn na obr. 2.7.

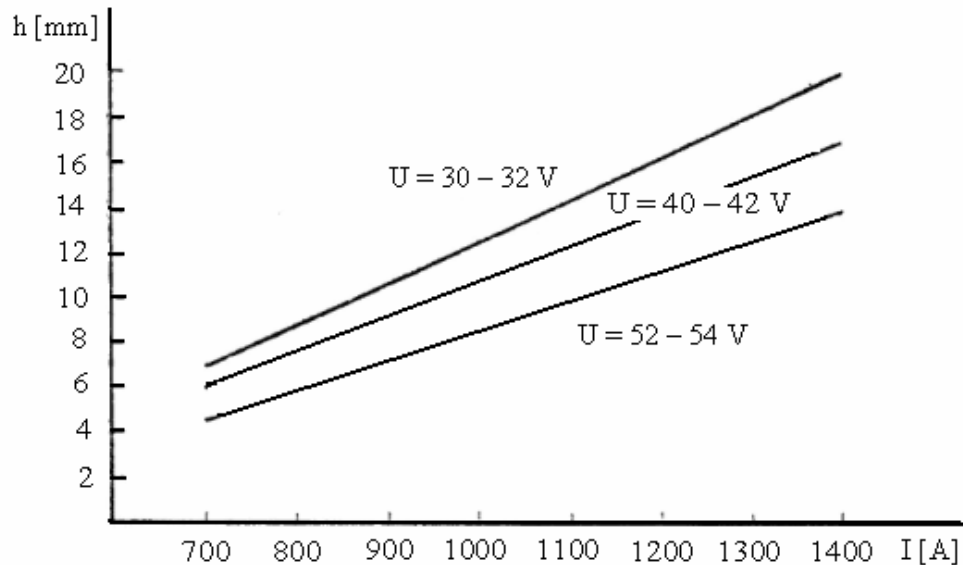


Svařovací napětí  $U = 30 - 32$  V, rychlost svařování  $v_s = 24$   $m \cdot h^{-1}$

Obr. 2.7 Vliv velikosti svařovacího proudu na změnu formy svaru [5]

### Vliv napětí na oblouku

Teplu vzniklé v elektrickém oblouku působí na větší plochu základního materiálu, a proto se hloubka protavení zmenšuje a šířka svarové housenky zvětšuje. Napětí na oblouku se určuje od velikosti svařovacího proudu tak, aby bylo dosaženo vyhovujícího součinitele formy svaru  $\psi$  (viz obr 2.8).

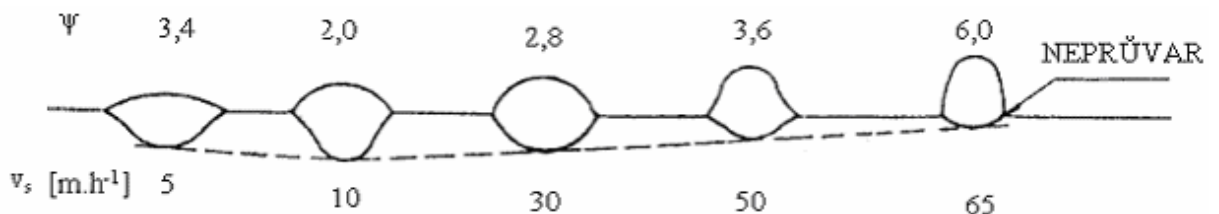


Rychlost svařování  $v_s = 20 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ , průměr svařovacího drátu  $d = 5 \text{ mm}$

Obr. 2.8 Vliv velikosti napětí na oblouku na hloubku provaření svarové housenky [5]

### Vliv velikosti rychlosti svařování

S konstantním svařovacím proudem, konstantním napětím na oblouku a se změnou rychlosti svařování se mění množství tepla v elektrickém oblouku. Při malé rychlosti svařování hoří elektrický oblouk téměř kolmo díky zanedbatelné horizontální složce dynamické síly elektrického oblouku. Při dalším zvyšování svařovací rychlosti nestačí vyvinuté teplo natavovat svarové plochy a zmenšuje se protavení základního materiálu. Vliv svařovací rychlosti na formu svaru lze vidět na obr. 2.9.



Svařovací napětí  $U = 36 \text{ V}$ , svařovací proud  $I = 750 \text{ A}$

Obr. 2.9 Vliv rychlosti svařování na koeficient formy svaru [5]

#### 2.4.4 Přídavné materiály pro svařování [5],[7]

Při svařování APT se tavidlo a svařovací drát dají navzájem kombinovat pro získání požadovaného chemického složení a mechanických vlastností svarového kovu. Na chemické složení svarového kovu má vliv hlavně svařovací drát.

Dráty pro metodu svařování APT jsou leskle tažené za studena. Hlavně pro navařování se užívají přídavné materiály ve formě pásky nebo trubičkové elektrody vytvořené ze svinutého pláště z měkkého materiálu. Tyto dráty mají malý obsah síry a fosforu (ten nemá obsahovat víc jak 0,12 %), vysoký obsah manganu.

Výběr normalizovaných drátů pro metodu svařování APT, hlavně pro svařování legovaných ocelí, je nedostatečný. Proto se vyrábí i řada nenormalizovaných drátů.

Norma ČSN EN 756 udává přehled drátů a tavidel pro svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí pro metodu svařování APT.

Klasifikace samostatného svařovacího drátu se skládá z pěti částí, které obsahují:

- 1) označení výrobku/metody svařování,
- 2) označení pevnostních vlastností a tažnosti čistého svarového kovu pro vícevrstvé svařování nebo pevnostních vlastností základního materiálu použitého pro klasifikace oboustranného svařování,
- 3) označení pro nárazovou práci čistého svarového kovu nebo svarového kovu svarového spoje,
- 4) označení typu použitého tavidla,
- 5) označení chemického složení použitého svařovacího drátu.

Klasifikace tavidel pro APT – norma ČSN EN 760:

- 1) udává označení výrobku (metody) svařování,
- 2) označuje způsob výroby,
- 3) označuje typ tavidla, chemické složení,
- 4) označuje třídu tavidla,
- 5) označuje metalurgické vlastnosti tavidla,
- 6) označuje druh proudu,
- 7) označuje obsah vodíku ve svarovém kovu.

Pro snazší použití této normy se klasifikace dělí na dvě části:

- povinná část obsahuje označení metody svařování, způsobu výroby, charakteristického chemického složení (typ tavidla) a použití tavidla,
- nepovinná část obsahuje označení metalurgických vlastností tavidla, typu proudu a obsahu vodíku.

#### Výroba tavidel

- tavená (odlíváním do vody) amorfni hmota se taví při teplotě 1250 – 1500 °C v elektrické peci, tavidlo není vhodné pro legování svarového kovu,
- keramická (spojením práškové směsi) směs se pojí pojivem (vodní sklo), sušení probíhá při teplotě 400 °C,
- sintrovaná (prášková směs se spojuje žháním při teplotě nad 800 °C), tavidlo je vhodné pro legování svarového kovu.

## Rozdělení tavidel

Dle chemického složení se tavidla dělí:

- podle obsahu křemíku ( $\text{SiO}_2$ ),
- podle obsahu manganu ( $\text{MnO}$ ),
- podle obsahu fluoridů.

## Druhy tavidel

Typ tavidla má vliv na operativní vlastnosti a na vlastnosti získaného svarového kovu, a to podle kombinace s typem drátu. Základní metalurgické charakteristiky bývají často popisovány tzv. indexem bazicity, který se definuje jako poměr mezi obsahem bazických a kyselých oxidů, které tavidlo obsahuje.

Tavidla pro svařování a navařování řadíme pomocí indexu bazicity do následujících skupin:

- kyselé,
- neutrální,
- bazické,
- vysoce bazické.

Velikost zrna do jisté míry ovlivňuje operativní vlastnosti tavidla. U hrubšího zrna je svarová housenka širší s menší hloubkou závaru. Negativní je také formování svarové housenky při velkém rozdílu ve velikosti zrna a za přítomnosti prachové frakce. Proto se velikost zrna definuje pro daný typ v určitém intervalu. Tavidla se dodávají v následujících zrnitostech:

- zrno 1 velikost zrna 0,25 – 1,8 mm,
- zrno 2 velikost zrna 1,00 – 2,5 mm,
- zrno 3 velikost zrna 0,25 – 2,5 mm.

## Bazicita tavidla

Vypočítá se z obsahu jednotlivých složek v tavidle nezávisle na typu drátu. Vyšší bazicita poskytuje vyšší hodnoty nárazové práce, ale znamená např. omezení svařovací rychlosti či parametru kresby povrchu svaru. Z ekonomického hlediska je proto vhodné vybírat tavidlo s nejnižší bazicitou, která stačí k dosažení potřebné minimální nárazové práce svarového kovu. Z řady různých výpočtů bazicity se všeobecně akceptuje způsob výpočtu dle Boniszewského.

$$\text{Koeficient bazicity: } B = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaF}_2 + \frac{1}{2}(\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO} + \frac{1}{2}(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)} \quad (2.1)$$

Dle výsledku bazicity se tavidla dělí do následujících skupin:

- $B < 0,9$  tavidla s nízkou bazicitou,
- $B = 0,9 - 1,2$  neutrální tavidla z hlediska bazicity,
- $B > 1,2 - 2,0$  bazická tavidla,
- $B > 2,0$  vysoce bazická tavidla.

Ze vzorce plyne, že tavidla s nízkou bazicitou obsahují více komplexních oxidů. Atomární vázaný kyslík příznivě působí na tvorbu mikrostruktury svaru. V čistém svarovém kovu závisí množství vázaného kyslíku na úrovni bazicity tavidel. Typické úrovně jsou:

– nízkobazická tavidla	> 750 ppm,
– neutrální tavidla	550 – 750 ppm,
– bazická tavidla	300 – 550 ppm,
– vysocebazická tavidla	> 300 ppm.

U svarů s nízkou úrovní kyslíku a vysokým promísením v základním materiálu může klesnout potřebná úroveň bazicity pod požadovanou hranici. Různá bazicita tavidla i úroveň kyslíku ve svarovém kovu může ovlivnit nárazovou práci čistého svarového kovu při stejném druhu drátu.

Různé druhy tavidel lze nalézt například v Technické příručce pro svařování pod tavidlem od společnosti ESAB, a to např.:

- tavidlo pro vysoké svařovací rychlosti,
- tavidlo pro nejnáročnější aplikace a nejvyšší požadavky na houževnatost svarového kovu,
- tavidlo poskytující vysoké hodnoty nárazové práce – pro žárovevné oceli,
- tavidlo pro aplikace s potřebou vysokého protavení,
- vysoce aktivní tavidlo,
- tavidlo pro vysoké svařovací rychlosti,
- tavidlo pro svařování a navařování korozivzdorných materiálů,
- tavidlo pro dosažení vysoké houževnatosti,
- kovový prášek pro zvýšení výkonu svařování.

#### 2.4.5 Manipulace s tavidly a jejich skladování [5]

Tavidla jsou hygroskopické látky a snadno navlhají (zejména pemzovitá a keramická tavidla). Proto se tavidla musí při dopravě a skladování uzavírat do obalů zamezujících navlhání.

Do skladů se umísťuje několik nádob se silikagelem (vysoušedlem). Podmínky skladování tavidel se definují v normě ČSN 05 5701, kde je uvedeno, že tavidla ve skladech se musí skladovat při minimální teplotě +10 °C a relativní vlhkost nemá být vyšší než 50 %.

Pokud je tavidlo vlhké nebo je u něj podezření na vlhkost, je třeba ho před použitím přesušit při teplotách 250 – 400 °C a občas promíchat.

#### 2.4.6 Kombinace drát a tavidlo [5],[6]

Zásadně se dodržuje malý obsah manganu v drátu v kombinaci s vysokým obsahem MnO v tavidle, např. bazické sintrované tavidlo a drát s vysokým obsahem Mn a tavidlo s nízkým obsahem MnO.

#### Nelegované a nízkolegované oceli

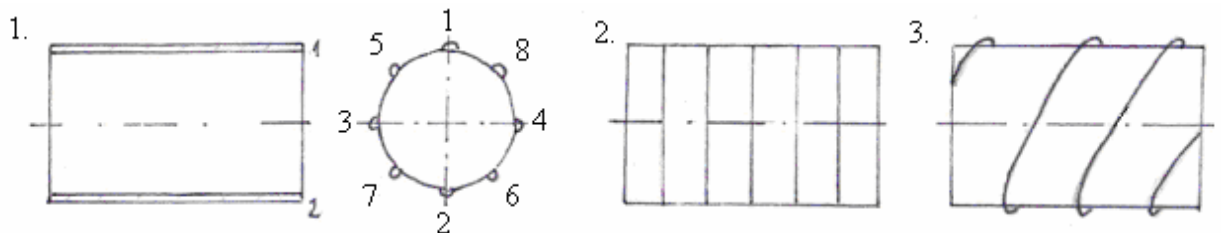
Tavidla se volí dle oblasti užití. Např. podle nízké úrovně nečistot ve svarovém kovu, pro žárovevné oceli, pro potrubní systémy, pro svařování zkorodovaných či okujených ocelí, pro svařování do úzkého úkosu nebo pro nízkoteplotní aplikace s požadavky na dobrou vrubovou houževnatost. Správný druh tavidla se může vybrat dle charakteristik tavidla. Pro některé nízkolegované oceli (např. žárovevné) by mělo být chemické složení drátu shodné se základním materiálem. Pro ostatní aplikace je nejvýhodnější kombinace tavidlo – drát podle pracovních charakteristik, požadované pevnosti či houževnatosti spoje a druhu spoje.

### 3 NAVAŘOVÁNÍ [8],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15]

Navarování spočívá v nanášení nového materiálu, tzv. návaru, na povrch základního materiálu. Používá se zde stejných metod jako u svařování. Návar je i první housenka, kterou operátor vyrobí. Navarování je možné provádět různými způsoby. A to pomocí plného drátu, navarovací pásky či trubiček.

Provádí se pro zvýšení funkčních vlastností povrchu. Například pro zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení (abraze, adheze, kavitace, eroze), zvýšení korozivzdornosti či jako renovace a opravy součástí.

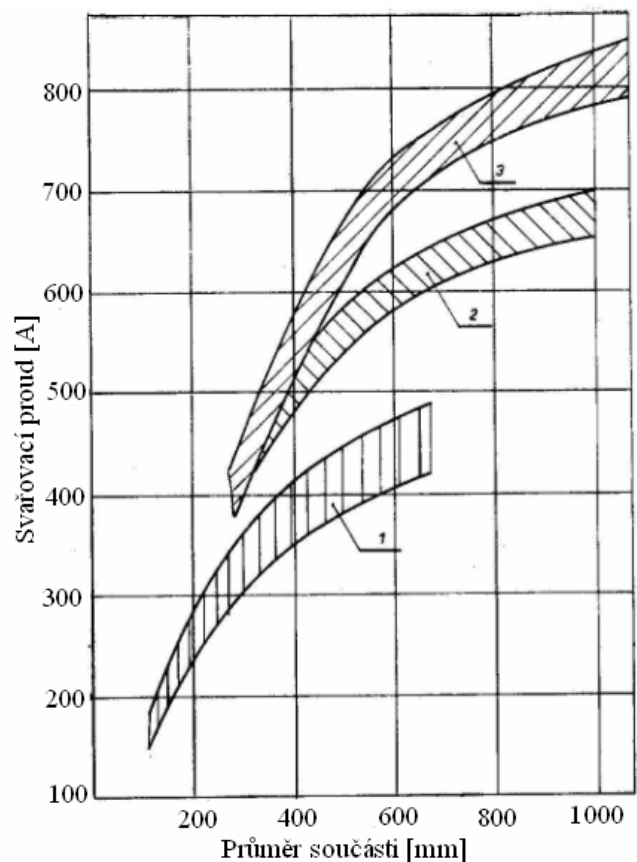
Navarování na válcové součásti se může provádět různými způsoby (viz obr. 3.1). Pro metodu navarování pod tavidlem je nejvhodnější použít metodu č. 3 – navarování ve šroubovici.



1. – navarování podélné, 2. – navarování po obvodu, 3. – navarování ve šroubovici

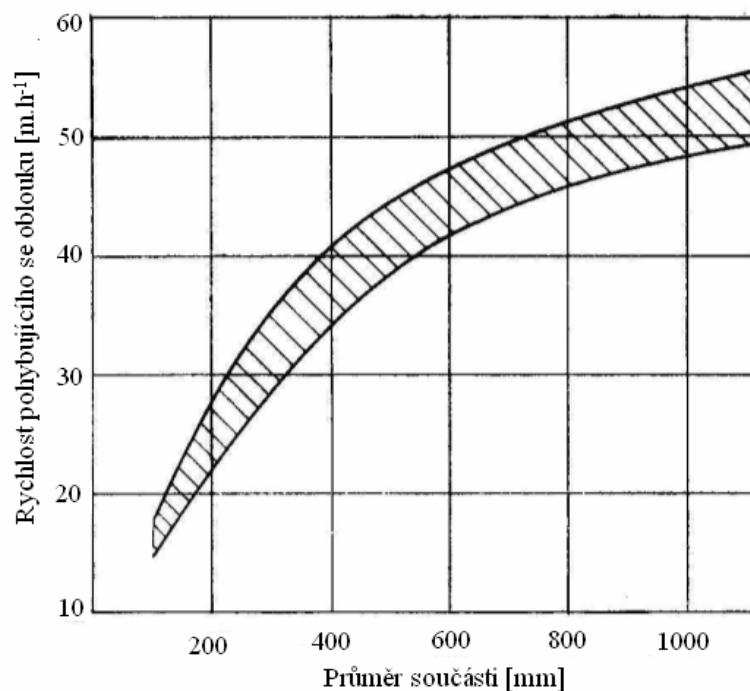
Obr. 3.1 Možnosti navarování

**Navarování válcových součástí** obvykle probíhá ve **šroubovici**. Součást se otáčí a přídavný drát se pomale pohybuje rovnoběžně s osou otáčení. Výhodou tohoto způsobu navarování je plynulost procesu, dobré formování, symetrické vnitřní napětí a možnost snížení promísení základního materiálu s navarovávaným kovem na minimum. Na obr. 3.2 lze vidět optimální hodnoty svařovacího proudu při navarování ve šroubovici v závislosti na průměru součásti a na průměru přídavných drátů. Na obr. 3.3 je optimální rychlost otáčení součásti při navarování v závislosti na průměru součásti.



- 1 – jednou elektrodou  $\varnothing$  3 – 3,5 mm
- 2 – jednou elektrodou  $\varnothing$  4 – 5 mm
- 3 – třemi elektrodami  $\varnothing$  3 – 3,5 mm

Obr. 3.2 Optimální hodnoty svařovacího proudu při navarování ve šroubovici v závislosti na průměru součásti [9]



Obr. 3.3 Optimální rychlosti otáčení součástí v závislosti na jejím průměru [9]

### 3.1 Možnosti poškození

Existují různé druhy poškození materiálu. V této kapitole se pojednává konkrétně o kavitačním procesu, korozním procesu a podnávarových trhlinách.

#### 3.1.1 Kavitační proces [10]

Jednou z již zmíněných provozních poškození, proti kterým navařování bojuje, je **kavitace**. Jde o vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, po kterém následuje imploze (opak exploze). Kavítace vzniká např. na lopatkách lodních šroubů, turbín, na čerpadlech a dalších zařízeních, která se velkou rychlostí pohybují v kapalině. Způsobuje hluk, snižuje účinnost strojů a může způsobit jejich mechanické poškození. Na její vznik má vliv velikost podtlaku, soudržnost kapaliny a teplota (čím je teplota nižší, tím je kavítace menší).

Kavítace může mít ale také kladné využití, a to např. v medicíně. Pomáhá při odstranění zubního kamene, rozrušování ledvinových kamenů pomocí rázových vln, čištění špatně dostupných míst (např. šperky). Při ultrazvukové liposukci se využívá kavítace na odbourávání podkožního tuku.

### 3.1.2 Korozní proces [11],[12],[13]

Koroze (viz obr. 3.4) je postupné a samovolné rozrušení kovů nebo nekovových organických i anorganických materiálů vlivem chemické či elektrochemické reakce s okolním prostředím. Je to vzájemné působení mezi materiálem a prostředím, což má za následek znehodnocení materiálu.

Probíhá na povrchu kovů za působení vzdušného kyslíku, vody a dalších látek. Tvoří se vrstva látek, které mění vlastnosti kovů.

Některé kovy (např. hliník, měď) se pokrývají na vzduchu tenkou, ale souvislou vrstvou sloučenin, která chrání kov před další korozi. Tento děj se nazývá pasivace kovů.



Obr. 3.4 Koroze [11]

#### Dělení koroze:

- podle vnitřního mechanismu:
  - chemická koroze,
  - elektrochemická koroze (fyzikálně – chemická koroze),
- podle druhu korozního prostředí:
  - atmosférická koroze,
  - koroze v kapalinách,
  - půdní koroze,
- podle kombinace s vnějšími činiteli:
  - koroze při mechanickém namáhání materiálu,
  - koroze při únavě materiálu,
  - vibrační koroze,
  - korozní praskání,
  - koroze bludnými proudy,
- podle druhu korozního napadení:
  - rovnoměrná koroze,
  - nerovnoměrná koroze,
  - štěrbinová koroze,
  - bodová koroze,
  - důlková koroze,
  - mezikrystalová koroze,
  - selektivní koroze,
  - korozní praskání,
  - galvanická koroze,
  - erozní koroze.

Koroze rovnoměrná – celý povrch se rovnoměrně rozpouští a dochází ke stejnoměrnému úbytku kovu.

Koroze nerovnoměrná – napadení pouze některých míst na povrchu materiálu či některých jeho strukturních částí.

Štěrbínovou korozi lze nalézt v jemných kapilárách či štěrbinách se špatným oběhem korozního prostředí v důsledku vzniku rozdílů v koncentraci kyslíku.

Bodová koroze je typická pro snadno pasivovatelné kovy (Cr, Al, Ni, Fe, korozivzdorné oceli). Vzniká lokálním poškozením pasivní vrstvy.

Důlková koroze vzniká také porušením pasivní vrstvy a projevuje se malým poměrem šířky a hloubky důlku.

Mezikrystalová koroze vzniká při existenci rozdílů v chemickém složení hranic zrn v porovnání s jeho objemem. To často v důsledku precipitačních a segregačních procesů. K mezikrystalové korozi jsou náchylné především austenitické oceli, hořčíkové, hliníkové a titanové slitiny.

### **Porušování korozi za napětí**

Při působení koroze a mechanických napětí může být intenzita korozního napadení vyšší, než při jejich izolovaném působení.

Napětí, při kterých vzniká korozní praskání, je vyvolané vnějším zatížením a vzniká při zbytkových napětích (tváření za studena, svařování, nevhodné tepelné zpracování, atd.).

Koroze za napětí vzniká působením statického či cyklického napětí. Koroze vede k praskání a křehkému lomu konstrukčních materiálů.

Nejzávažnější dva typy vyznačující se iniciací a šířením korozních trhlin:

- korozní praskání,
- korozní únava.

Mechanická napětí v materiálu ovlivňují jeho korozní chování těmito způsoby:

- porušují ochranné vlastnosti pasivních povrchových vrstev,
- urychlují rozpad metastabilních fází ze vzniku lokálních, anodických oblastí a tvoří tak elektrochemickou strukturní heterogenitu,
- urychlují selektivní korozi.

### **Ochrana proti korozi**

Nelze použít jednotný systém ochrany z důvodu variability používaných materiálů, různých působících prostředí a použitých konstrukčních řešení. Je nutné volit příslušnou ochranu případ od případu.

Dělí se na tři hlavní skupiny.

**1) Antikorozní legování a tepelné zpracování.** Používá se tam, kde nelze užít levnější metody. Jako hlavní legující přísada v korozivzdorných ocelích se používá chrom, nikl, molybden. Korozní odolnost se dá pozitivně ovlivnit i vhodným tepelným zpracováním, kterým se dosáhne homogenní struktury s minimální úrovní vnitřních napětí.

Používají se také různé kovové a nekovové povlaky vytvářené řadou technologií (např. galvanické pokovování, žárové nástřiky, nanášení rozprášeného kovu elektrickým obloukem, plasmou, vakuovým napařováním nebo naprašováním, atd.). Tyto povlaky chrání před korozním napadením, ale i zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti povrchu kovů (např. tvrdost, odolnost proti opotřebení, elektrickou vodivost, schopnost pájení a přispívají i ke zlepšení vzhledu součástí).

**2) Snížení agresivity prostředí.** Sem se řadí např. užití ochranných atmosfér a inhibitorů koroze, snížení či úplné odstranění množství kyslíku z prostředí, atd.

**3) Záměrné ovlivnění konstrukce.** Již ve stadiu projekce lze podstatně zlepšit odolnost proti korozi:

- a) zamezením kontaktu dvou kovů o různém elektrochemickém potenciálu, aby v daném prostředí nemohl vzniknout makročlánek. Některé nekovové materiály (např. asbest, dřevo, některé plasty) mohou uvolňovat korozně aktivní látky.
- b) zamezením hromadění vlhkosti a vody v některých částech konstrukce.
- c) zamezením vzniku turbulentního proudění prostředí, především, když je součást současně vystavena korozi a erozi. Nebezpečné je i vyšlehávání materiálů rychlým prouděním media.
- d) technologické postupy především svařování a tepelné zpracování mohou výrazně přispět k vyvolání citlivosti ke korozi (vnitřní pnutí, nežádoucí segregační a precipitační procesy).

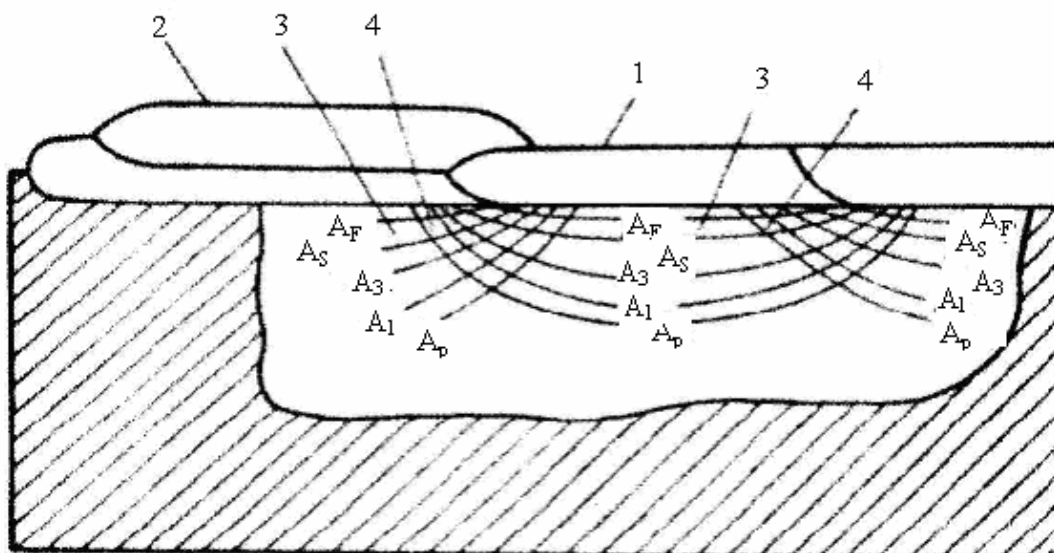
### **3.1.3 Podnávarové trhliny [14],[15]**

Patří mezi žihací trhliny, které vznikají za nižších teplot (200 – 300 °C). Obecně vznikají tenzotermickým vlivem po sobě následujících housenkách. Vyskytují se většinou při navařování nízkolegovaných ocelí páskovou austenitickou elektrodou vysokými tepelnými příkony pod tavidlem ( $100 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Jde o trhliny či mezikrystalové separace, které vznikají při navařování další vrstvy návaru nebo při následném tepelném zpracování návaru v přehřáté ovlivněné oblasti.

Vznikají také při navařování konstrukční oceli antikorozi výstelkou (austenitickou navařovací páskou). Při pokládání vedlejší vrstvy se podnávarová oblast první vrstvy ovlivní. Tyto trhliny se vyskytují v nepříznivé oblasti pod teplotou  $A_1$  a během žihání dále rostou.

Podnávarovým trhlinám lze předejít navařením první vrstvy materiálem o stejném součiniteli tepelné roztažnosti jako má navařovaná ocel, protože vznik podnávarových trhlin je vždy provázen tahovou napjatostí. Např. v návaru z nelegované nízkouhlíkové oceli s obsahem 0,8 % Mn nebyly při navařování další austenitické vrstvy zjištěny trhliny.

Náchylnost oceli k podnávarovým trhlinám se dá stanovit simulací ohřevu na kritické teploty. Například 1350 °C po dobu 60 s. Po ukončení cyklu se simuluje druhý cyklus navařování s tepelným ovlivněním na teplotu 400 – 700 °C. Po ohřevu na uvedené teploty se vzorky zatíží a zjišťuje se hodnota tažnosti. Pokud mají vzorky po nepříznivém tepelném ovlivnění zjemněna zrna, pak se nepříznivé tepelné ovlivnění v rozsahu teploty 500 – 700 °C neprojeví. Oblast vzniku podnávarových trhlin lze pozorovat na obr. 3.5.



- 1 – první vrstva návaru
- 2 – druhá vrstva návaru
- 3 – hrubozrnné oblasti
- 4 – oblasti výskytu podnávarových trhlin
- A<sub>F</sub> – izoterma ohraničující oblast výskytu feritu delta
- A<sub>S</sub> – izoterma ohraničující oblast natavení sulfidových vměstků
- A<sub>p</sub> – izoterma ohraničující oblast precipitace

Obr. 3.5 Oblast vzniku podnávarových trhlin [14]

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST [16],[17],[18],[19],[20],[21],[22],[23]

Experimentální část se zabývá navařováním materiálu 30CrMoNiV5-11 pod tavidlem pomocí tavidla OP 87 a navařovacího drátu OE 19 9 nC od firmy Oerlikon, čímž vznikne protikorozní ochranný návar. Musí se vytvořit s ohledem na potlačení vzniku podnávarových trhlin.

### 4.1 Svařovací zařízení

Navařování se provedlo na zařízení **WST 1000 + TRT 1000** (obr. 4.1) od výrobce ZEZ Hořice. TRT 1000 je transformátorový, plynule regulovatelný zdroj proudu s maximálním výstupním proudem 1000 A. Podle požadavků se dá na TRT 1000 nastavit střídavý či stejnosměrný výstupní proud.

WST 1000 je svařovací automat traktorového typu s plynulou regulací rychlostí. Podávání drátu je v rozsahu  $0,55 - 12,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Plynulá regulace rychlosti je od  $8 - 60 \text{ m}\cdot\text{hod}^{-1}$ , dá se i přepnout na  $40 - 125 \text{ m}\cdot\text{hod}^{-1}$ .



Obr. 4.1 Svařovací zařízení

## 4.2 Experimentální materiál [16]

### Žáropevné oceli

Vhodný typ žárovevné oceli vychází z její teplotní odolnosti (maximální použitá teplota, pevnostní charakteristiky při zvýšených teplotách, žáruvzdornost). Platí, že čím je žárovevná ocel výše legovaná, tím je cena vyšší a většinou je i technologie zpracování náročnější. Oproti tomu vyšší užité vlastnosti u výše legovaných skupin žárovevných ocelí pomáhají k odlehčení konstrukcí.

Dle teplotního použití a úrovně legování se dají žárovevné oceli rozdělit:

- uhlíkové kotlové oceli tř. 11 a 12 (do 0,2 hm.% C), použitelná teplota 450 – 480 °C,
- nízkolegované oceli tř. 15, použitelná teplota 560 – 580 °C,
- feritické chromové oceli tř. 17 (legované Mo, V, Nb), použitelná teplota 600 – 620 °C,
- austenitické CrNi oceli typu 18/8, použitelná teplota 650 °C,
- austenitické CrNi oceli vytvrditelné (Nb, Zr, N), použitelná teplota 750 °C.

### **Nízkolegované oceli tř. 15**

Je to nejlépe propracovaná skupina žárovevných ocelí, které se používají zejména na bázi CrMo a CrMoV. Ty představují z hlediska hmotnosti největší podíl tepelně namáhaných komponent u bloků tepelné energetiky.

Za nejrozšířenější se považuje ocel 15 313 na bázi 2,25 Cr – 1 Mo, potom typ 15 128 na bázi 0,5 Cr – 0,5 Mo – 0,3 V z legovaných ocelí. Mimo tyto oceli, které se používají na trubkové varné systémy, přehříváky i parovody, jsou známé i oceli 15 236 (1,5 Cr – 0,5 Mo – 0,6 V) na lopatky turbín a svorníky. Podobně jako 15 320 (1,5 Cr – 0,7 Mo – 0,25 V) používané na rotory a skříně turbín. Do této skupiny se při vyšším legování chromem řadí i vodíkuvzdorné a žárovevné nízkolegované oceli, např. 15 313, 15 421 nebo 15 423, které nahradily dřívější obtížně technologicky zpracovatelné oceli s wolframem.

Vysoká žárovevnost těchto ocelí, která se stupňuje dle optimálního legování, zejména prvky Mo a V, je dána vysokým podílem precipitačního zpevnění struktury a částečně i substitučním zpevněním atomy Mo v tuhém roztoku. Vliv na dlouhodobou vysokoteplotní odolnost těchto ocelí má jejich strukturní stabilita.

### **4.2.1 Základní materiál [17],[18],[19]**

Rotor turbíny je vyroben z žárovevné nízkolegované oceli 30CrMoNiV5-11 (15 320). Tato ocel je určena do provozu nad 350 °C a její chování závisí především na struktuře. Oceli s obsahem uhlíku 0,3 hm. % se používají pro jejich vyšší tvrdost a otěruvzdornost.

Tab. 4.1 Chemické složení oceli 30CrMoNiV5-11 v hm. % [viz Příloha 1]

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Al
Hm. %	0,31	0,6	0,02	0,005	0,001	1,25	0,7	1,1	0,31	0,005

### **Uhlíkový ekvivalent**

Vliv chemického složení je vyjádřen pomocí uhlíkového ekvivalentu, který je třeba znát při posuzování svařitelnosti uhlíkových ocelí. Pokud je  $C_{ekv} \leq 0,45$  hm. % a zároveň  $C \leq 0,2$  hm. % a svařovaná tloušťka  $s \leq 25$  mm, pak není nutné užít zvláštních opatření, která by zabránila vzniku trhlin. K těmto patří především předeřev.

Uhlíkový ekvivalent pro nízkolegované oceli:

$$C_{\text{ekv}} = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (4.1)$$

$$C_{\text{ekv}} = 0,31 + \frac{0,6 + 1,1}{10} + \frac{1,25 + 0}{20} + \frac{0,7}{40}$$

$$\underline{C_{\text{ekv}} = 0,559 \text{ hm. \%}}$$

Protože uhlíkový ekvivalent a obsah uhlíku v oceli 30CrMoNiV5-11 nespádají do daných podmínek, lze u této oceli předpokládat vznik trhlin.

### Teplota předehřevu

Rychlost ochlazování tepelně ovlivněné oblasti je jeden z důležitých hledisek při svařování uhlíkových ocelí. TOO mimo jiné také závisí na množství dodaného tepla. Proto se u těchto ocelí často užívá předehřev ke zpomalení ochlazování.

Výpočet teploty předehřevu se provede dle ČSN EN 1011-2, dle vzorce 4.3. Uvažuje se tloušťka materiálu  $t = 55 \text{ mm}$ , úroveň difúzního vodíku  $HD = 4 \text{ ml} \cdot 100\text{g}^{-1}$ . Hodnota vneseného tepla  $Q_s$  se vypočítala dle parametrů svařování ze vzorce 4.2. Vnesené teplo vyšlo  $Q_s = 0,756 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

$$Q_s = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v_s}$$

$Q_s$  ... specifické vnesené teplo [ $\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]  
 $\eta$  .... tepelná účinnost přenosu tepla [-]  
 $U$  .... svařovací napětí [V]  
 $I$  .... svařovací proud [A]  
 $v_s$  .... rychlost svařování [ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$$T_p = 697 \cdot C_{\text{ekv}} + 160 \cdot \tanh \frac{t}{35} + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot C_{\text{ekv}} - 32) \cdot Q_s - 328 \quad (4.3)$$

$$T_p = 697 \cdot 0,559 + 160 \cdot \tanh \frac{55}{35} + 62 \cdot 4^{0,35} + (53 \cdot 0,559 - 32) \cdot Q_s - 328$$

$$\underline{T_p = 307 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Vypočítaná hodnota předehřevu pro oceli 30CrMoNiV 5-11 s tloušťkou 55 mm je 307 °C. Pro návar se doporučuje teplota předehřevu 270 – 300 °C.

### 4.2.2 Přídavný materiál [20]

#### 1) Tavidlo

Při experimentu se použilo vápenato – křemičité **tavidlo OP 87** od firmy Oerlikon. Je to aglomerované tavidlo určené pro plátování s Cr, CrNi a CrNiMo přídavnými materiály. Také se používá pro svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí. Tavidlo má sytkou hmotnost asi  $1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$  a jeho spotřeba je zhruba 650 g na kg svarového kovu. OP 87 obsahuje Cr. Je možné ho svařovat stejnosměrným i střídavým proudem. Na základě malého závaru je vhodnější použít stejnosměrný proud. Navlhavosti tavidla zamezí dodávka v plechových sudech. Vlhké tavidlo se musí dosušit při 300 – 350 °C.

Tab. 4.2 Hlavní složky tavidla OP 87 [viz Příloha 2]

SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub>	CaO + MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO	CaF <sub>2</sub>
35 %	20 %	25%	10%

Index bazicity podle Boniszewski: 1,0

Tab. 4.3 Analýza svarového kovu v % [viz Příloha 2]

S navařovacím drátem	C	Cr	Ni	Mo	Nb
OE-19 9 nC	<0,04	>18	>9	-	-

Tab. 4.4 Mechanické vlastnosti pro stav po svaření [Příloha 2]

S navařovacím drátem	Mez pevnosti v tahu [N·mm <sup>-2</sup> ]	0,2 % Mez kluzu [N·mm <sup>-2</sup> ]	Tažnost A <sub>5</sub> [%]	Rázová práce ISO-V + 20°C [J]
OE – 19 9 nC	>510	>320	>30	>55

## 2) Navařovací drát

Pro tavidlo OP 87 je vhodné použít např. **navářovací drát OE 19 9 nC** od stejné firmy. Tento drát je určen také pro navařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí pod tavidlem. Dráty jsou poměděné, popř. leskle tažené.

Tab. 4.5 Chemické složení navařovacího drátu [viz Příloha 3]

Obchodní označení	Označení DIN EN 12072	Hmotnostní %							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	N
OE 19 9 nC	S 19 9 Nb	≤0,05	0,4	1,3	19	9,5	-	>12 C	-

### Určení výsledné struktury pomocí **Schäfflerova diagramu**

základní materiál – 30CrMoNiV5-11

$$Ni_{ek} = Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn \quad (4.4)$$

$$Ni_{ek} = 0,7 + 30 \cdot 0,31 + 0,5 \cdot 0,6$$

$$\underline{Ni_{ek} = 10,3}$$

$$Cr_{ek} = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad (4.5)$$

$$Cr_{ek} = 1,25 + 1,1 + 1,5 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0$$

$$\underline{Cr_{ek} = 2,38}$$

přídavný materiál – navařovací drát OE 19 9 nC

$$Ni_{ek} = Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn$$

$$Ni_{ek} = 9 + 30 \cdot 0,05 + 0,5 \cdot 1,3$$

$$\underline{Ni_{ek} = 11,15}$$

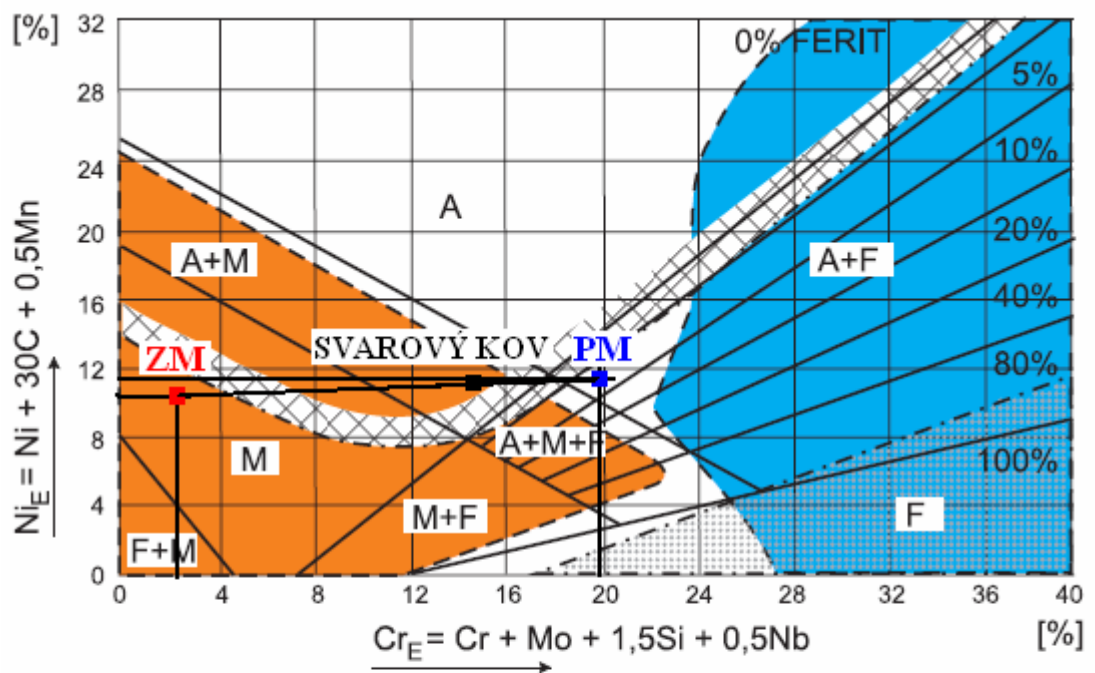
$$Cr_{ek} = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti$$

$$Cr_{ek} = 19 + 0 + 1,5 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0$$

$$\underline{Cr_{ek} = 19,9}$$

základní materiál – 30CrMoNiV5-11 (viz červený bod na obr. 4.2)

přídavný materiál – navařovací drát OE 19 9 nC (viz modrý bod na obr. 4.2)



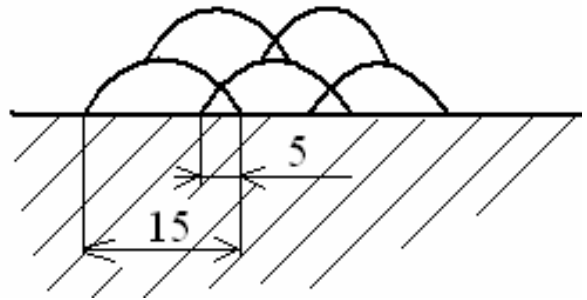
- Oblast vzniku trhlin pod 400 °C (zakalení)
- Oblast fáze 0
- Oblast růstu zrna nad 1150 °C
- Oblast nebezpečí vzniku teplých trhlin nad 1250 °C

Obr. 4.2 Schäfflerův diagram [20]

### 4.3 Návrh a provedení experimentu

Navarováný základní materiál 30CrMoNiV5-11 o tloušťce 55 mm se upnul do přípravku. Na něj se navařilo pod tavidlem 5 housenek dle obr. 4.3 – 4.6, a to vodorovně shora metodou PA pomocí stejnosměrného proudu.

Použilo se výše zmíněné tavidlo a drát. Po navaření každé vrstvy se návar očistil od tvrdé a křehké sklovité vrstvy strusky a změřila se teplota materiálu (případně se opět provedl předehřev). Po dokončení všech pěti návarů a po vychladnutí vzorku se provedly 2 řezy materiálu, a to jeden přes tři housenky a jeden přes pět housenek. Díky vrchním žihacím housenkám se dají předpokládat podnávarové trhliny v základním materiálu. Dále se vzorek vybrousil a ještě v naleptaném stavu se pozorovaly trhliny. V naleptaném stavu se provedlo vyhodnocení makrostruktury, změřila se tvrdost. Poté se vzorek vyžíhal a opět se pozorovaly trhliny.



Obr. 4.3 Návar

Tab. 4.6 Svařovací parametry

Teplota předehřevu [°C]	Proud [A]	Napětí [V]	Svařovací rychlost [mm·s <sup>-1</sup> ]	Průměr drátu [mm]
300	260 – 280	28	10	3,2



Obr. 4.4 První návar



Obr. 4.5 Tři návary



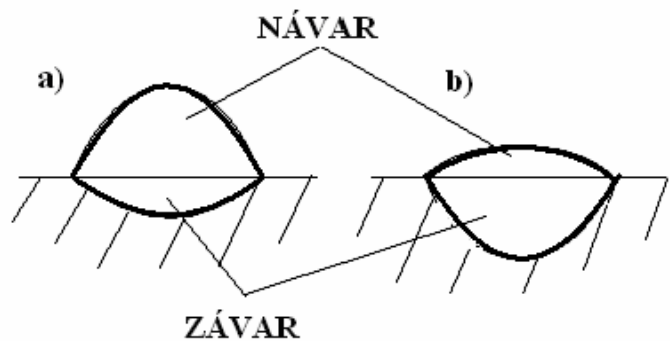
Obr. 4.6 Pět návarů

### Zředění svarového kovu

Je to procentuální obsah přídavného materiálu v základním materiálu. Vlivem zředění se snižují vlastnosti materiálu v porovnání s návarem (přídavným materiálem). V tomto případě je žádoucí mít plochu závaru menší než plochu návaru viz obr. 4.7 a).

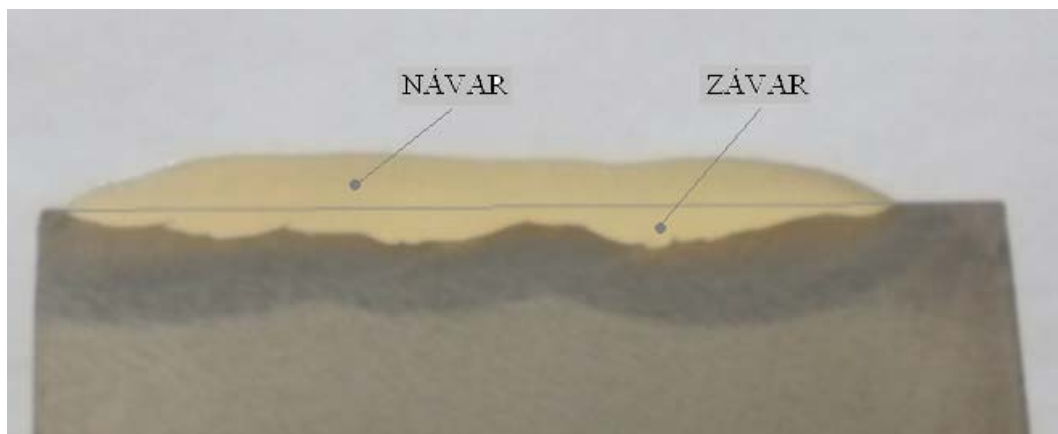
$$Z = \frac{S_Z}{S_N + S_Z} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.6)$$

$Z$  – zředění [%]  
 $S_Z$  – plocha závaru [ $\text{mm}^2$ ]  
 $S_N$  – plocha návaru [ $\text{mm}^2$ ]



Obr. 4.7 Poměr zředění návaru

Pomocí čtverečkové metody se vypočítala plocha závaru a návaru na konkrétním materiálu (obr. 4.8). Zředění u první vrstvy návaru vyšlo cca 37%. Plocha návaru je větší než plocha závaru dle předchozích požadavků.

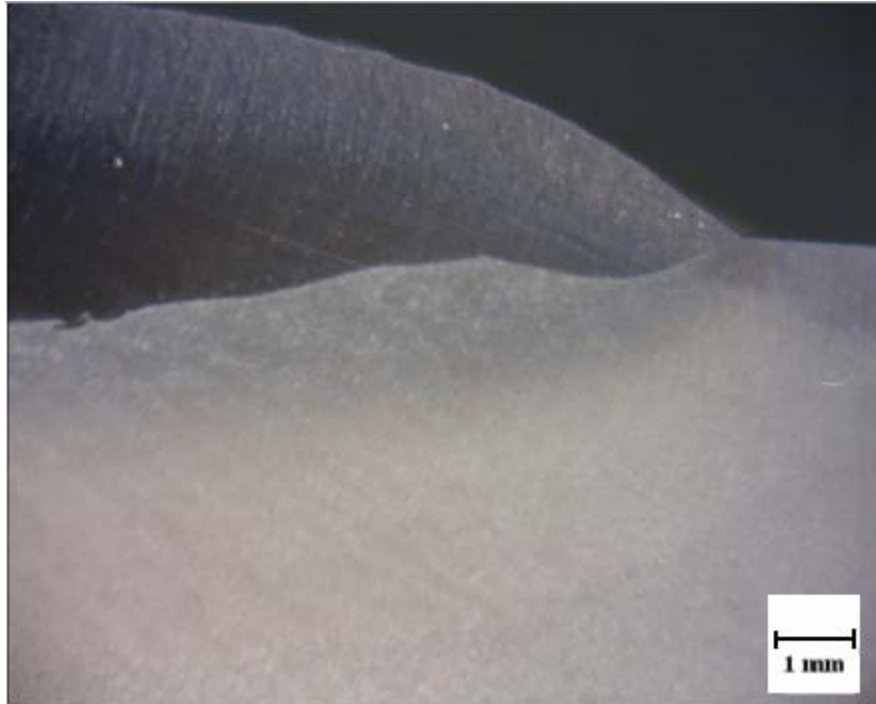


Obr. 4.8 Konkrétní návaru a závar

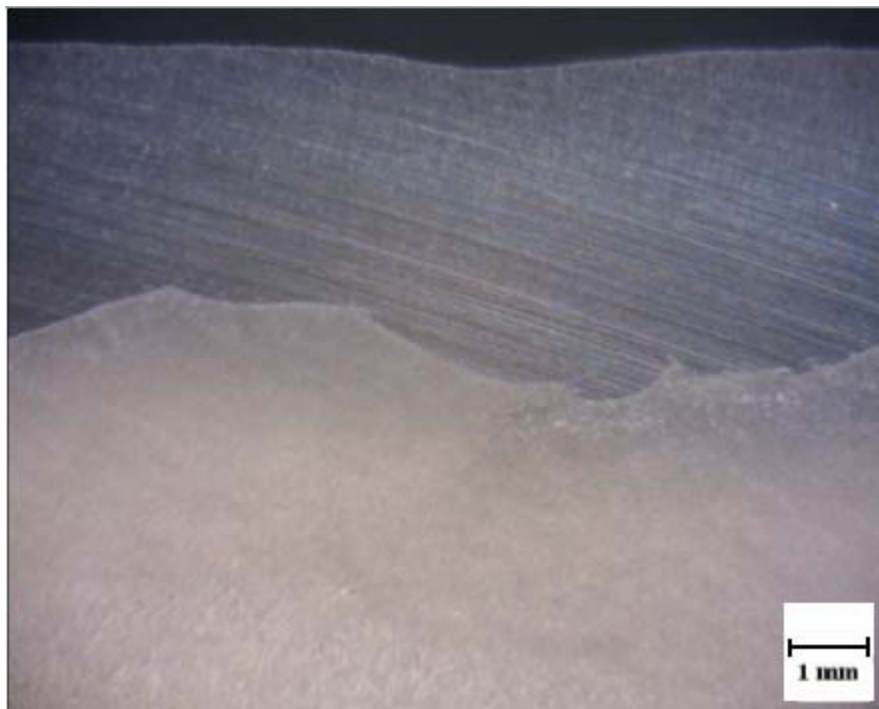
## 4.4 Dosažené výsledky

Na vzorku se pozoroval v neleptaném stavu možný výskyt podnávarových trhlin. Jejich přítomnost se však nepotvrdila a ani po přeleptání vzorku a provedení dokumentace makrostruktury se podnávarové trhliny neobjevily (viz obr. 4.9 – 4.16). To dokazuje správnou volbu parametrů pro navařování.

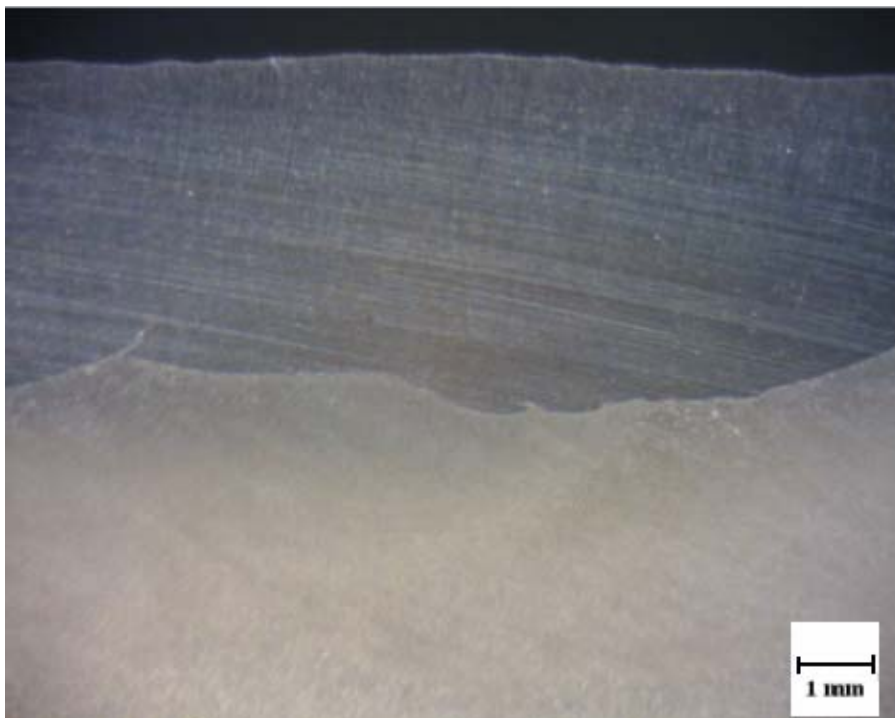
### 4.4.1 Metalografie



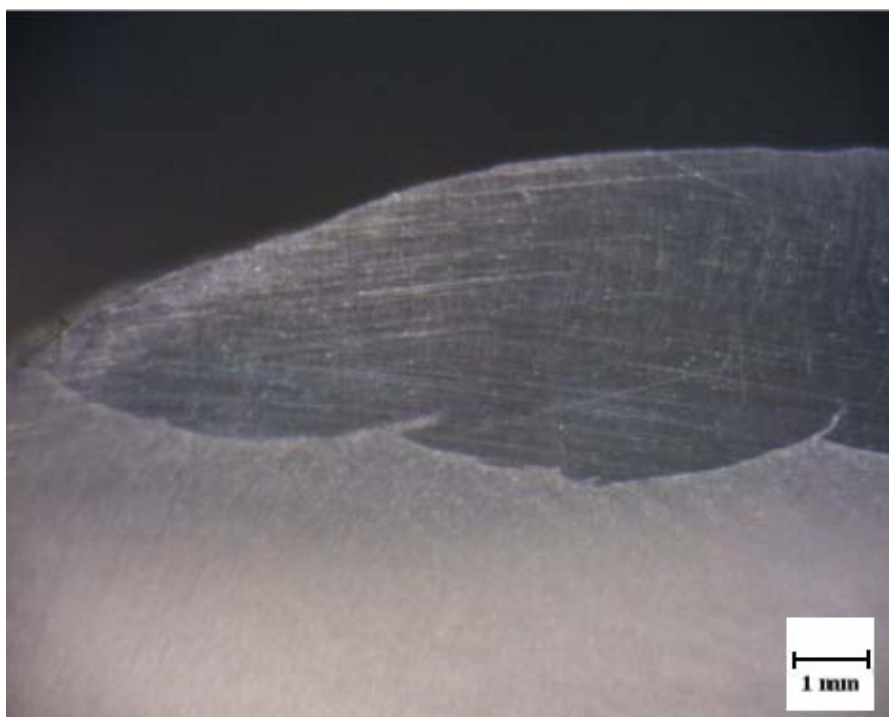
Obr. 4.9 Makrostruktura návaru



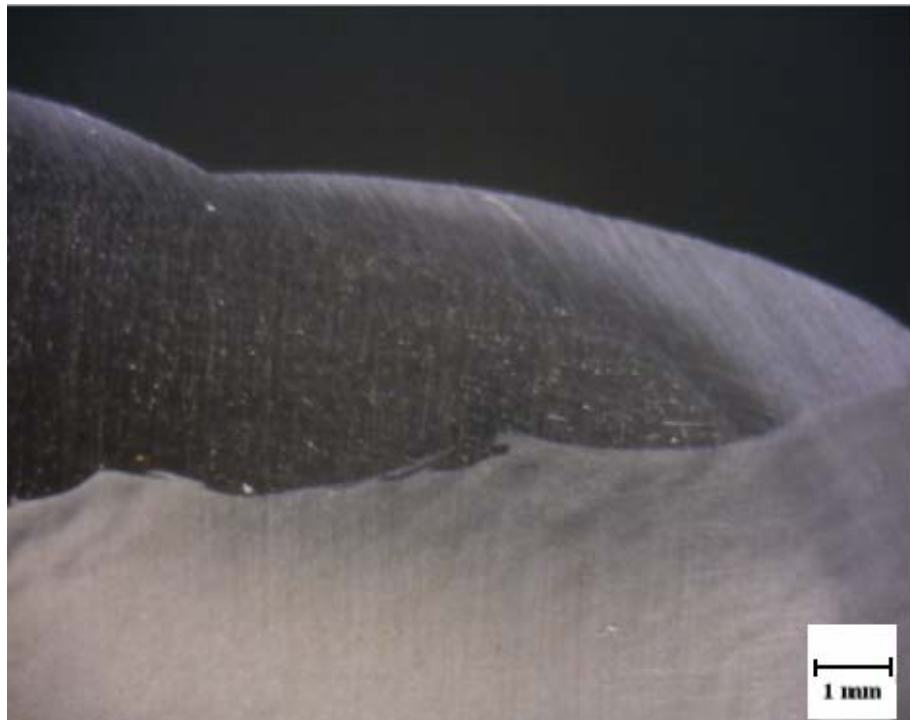
Obr. 4.10 Makrostruktura návaru



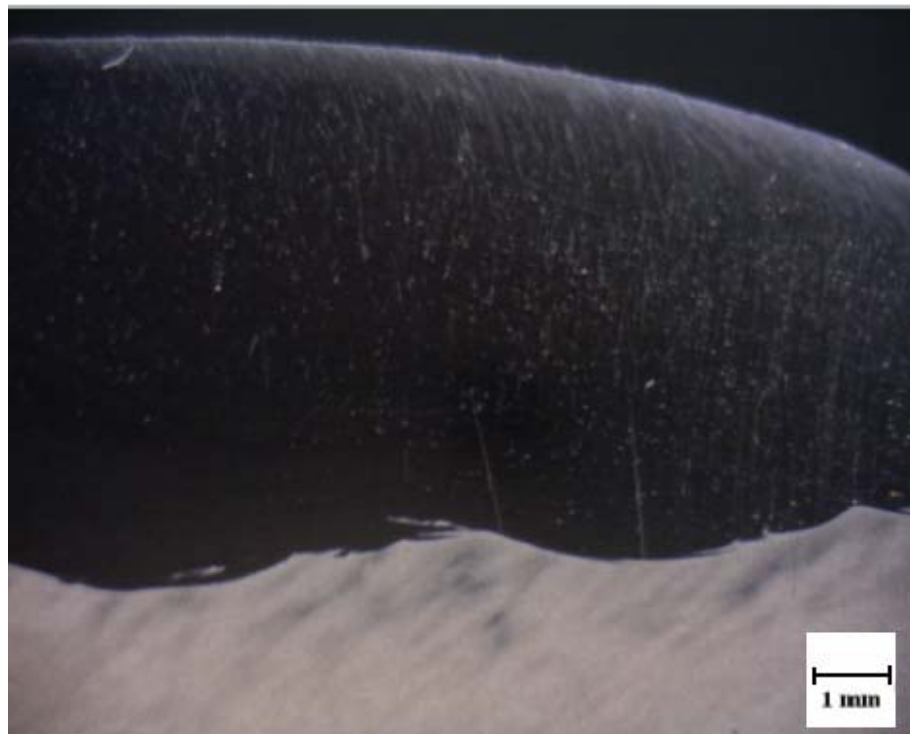
Obr. 4.11 Makrostruktura návaru



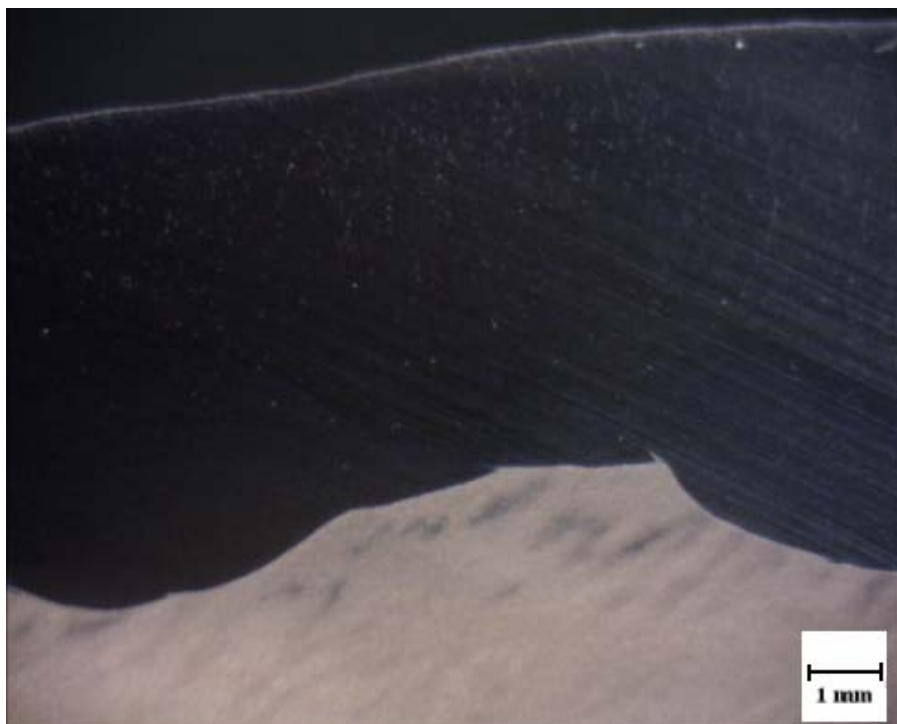
Obr. 4.12 Makrostruktura návaru



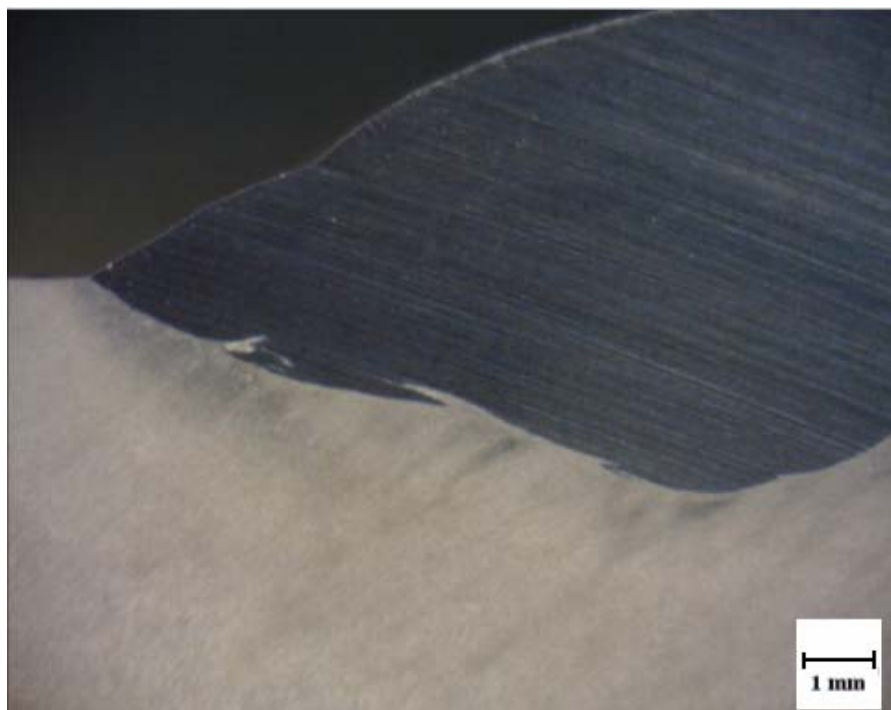
Obr. 4.13 Makrostruktura návaru



Obr. 4.14 Makrostruktura návaru



Obr. 4.15 Makrostruktura návaru



Obr. 4.16 Makrostruktura návaru

#### 4.4.2 Měření tvrdosti [21]

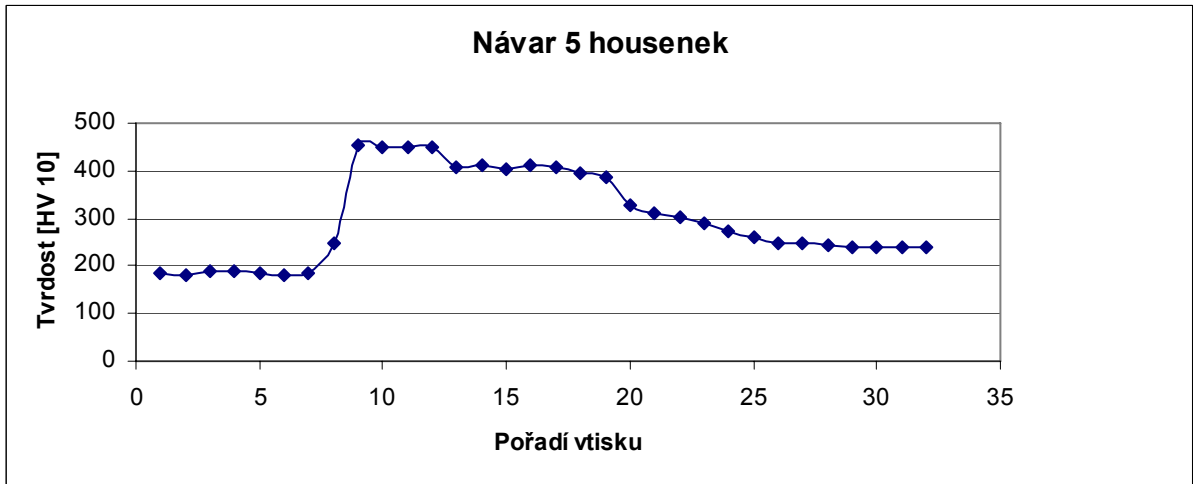
Po navaření se provedlo měření tvrdosti návaru přes tepelně ovlivněnou oblast do základního materiálu. A to pro návar pěti housenkami (tab. 4.7, obr. 4.18) a třemi housenkami (tab 4.8, obr. 4.18). Vtisky do materiálu se neprovedly v jedné přímce, aby se navzájem neovlivňovaly hodnoty tvrdosti viz obr. 4.19.

Tab. 4.7 Měření tvrdosti návaru s 5 housenkami

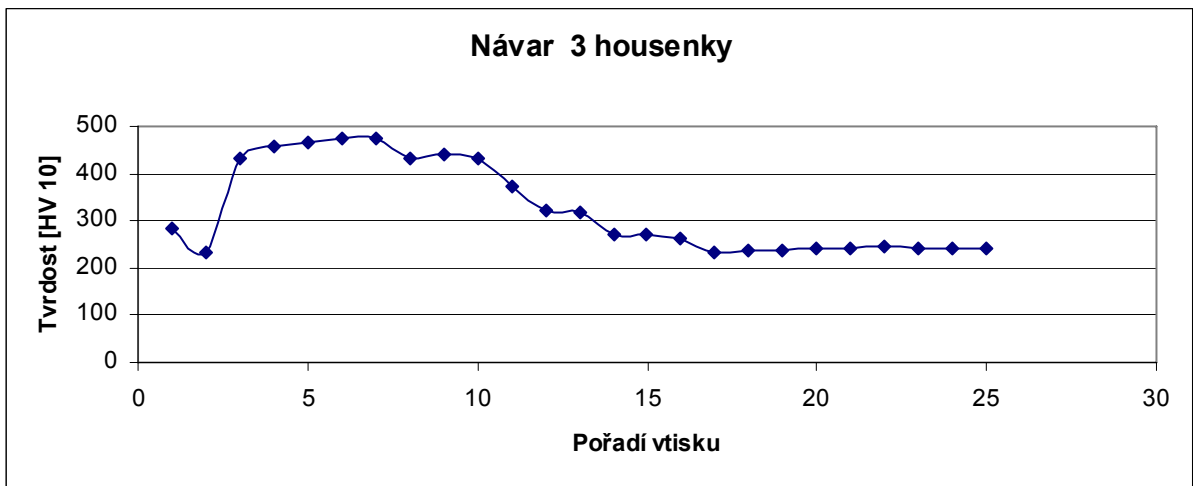
Návar 5 housenek			
Pořadí vtisku	HV 10	Oblast	Šířka oblasti [mm]
1	186	Návar	5
2	182		
3	188		
4	187		
5	185		
6	182		
7	185		
8	249		
9	455		
10	450		
11	450		
12	450		
13	407	TOO	3,5
14	411		
15	404		
16	413		
17	407		
18	394		
19	388		
20	328		
21	309		
22	303		
23	290		
24	272		
25	261		
26	246	ZM	3
27	246		
28	242		
29	240		
30	240		
31	240		
32	240		

Tab. 4.8 Měření tvrdosti návaru s 3 housenkami

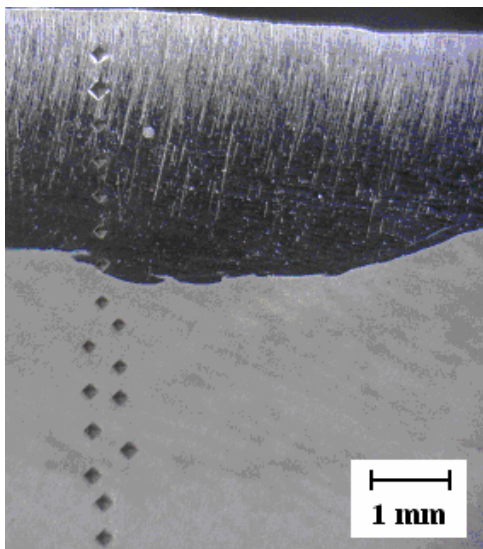
Návar 3 housenky			
Pořadí vtisku	HV 10	Oblast	Šířka oblasti [mm]
1	282	Návar	4
2	233		
3	434		
4	457		
5	466		
6	474		
7	474		
8	433	TOO	3
9	439		
10	433		
11	372		
12	324		
13	319		
14	272		
15	272		
16	261		
17	232	ZM	4
18	239		
19	239		
20	242		
21	240		
22	244		
23	242		
24	242		
25	241		



Obr. 4.17 Průběh tvrdosti u návaru s pěti housenkami



Obr. 4.18 Průběh tvrdosti u návaru se třemi housenkami



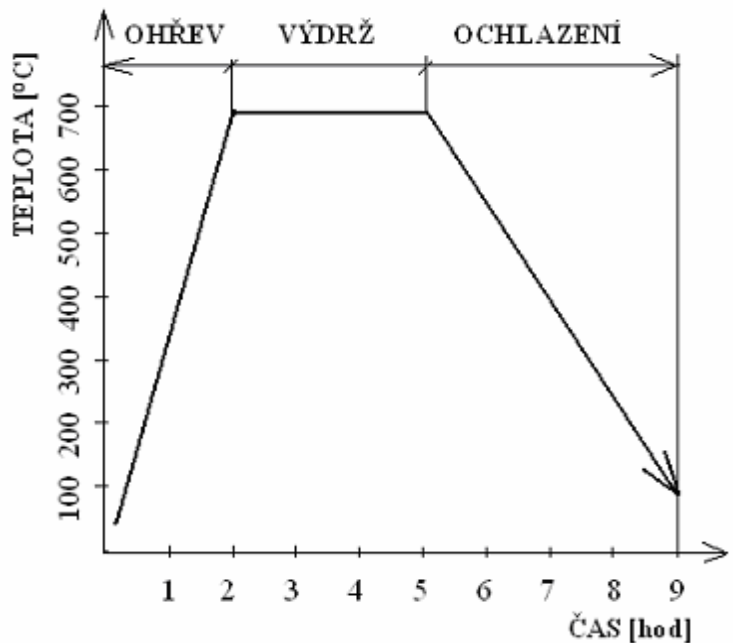
Obr. 4.19 Měření tvrdosti návaru a TOO



Obr. 4.20 Měření tvrdosti podnávarové oblasti

## Tepelné zpracování

Po proměření tvrdosti se vzorek tepelně zpracoval, konkrétně **žiháním**. Náběh na teplotu 690 °C trval 2 hodiny, poté následovala tříhodinová vydrž a pokles teploty trval 4 hodiny. Teplotní cyklus procesu žihání je na obr. 4.21. Ani po tomto procesu se podnávarové trhliny nezjistily. Opět se změřila tvrdost materiálu (tab. 4.9 a obr. 4.22) a při porovnání měření tvrdosti před a po tepelném zpracování (obr. 4.23) je vidět, že se tvrdost materiálu po žihání snížila.

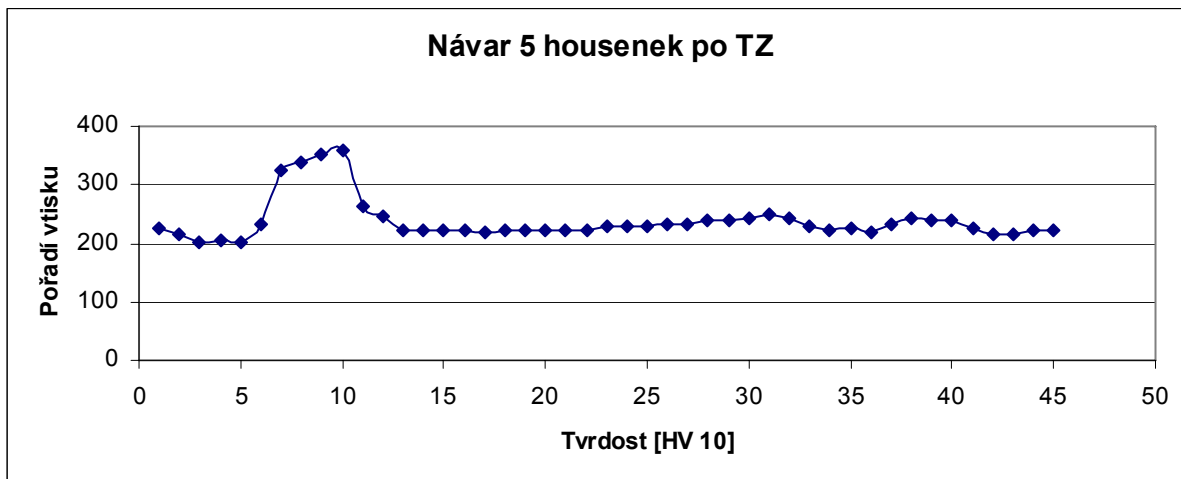


Obr. 4.21 Teplotní cyklus žihání

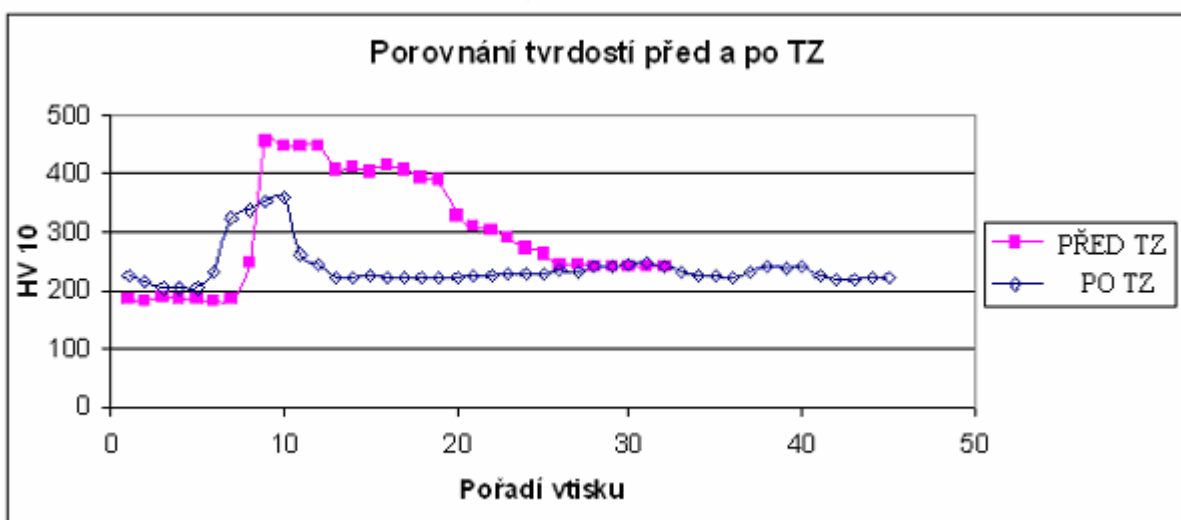
Tab. 4.9 Měření tvrdosti návaru s pěti housenkami po TZ

Návar 5 housenek po TZ		
Pořadí vtisku	HV 10	Oblast
1	224	Návar
2	214	
3	202	
4	205	
5	202	
6	232	
7	324	
8	337	
9	351	
10	359	
11	263	ZM
12	246	
13	221	
14	221	
15	223	
16	222	
17	219	
18	221	
19	221	
20	221	
21	223	

22	223
23	229
24	229
25	229
26	233
27	232
28	241
29	241
30	244
31	249
32	242
33	230
34	223
35	225
36	219
37	231
38	243
39	239
40	240
41	225
42	217
43	217
44	221
45	221



Obr. 4.22 Průběh tvrdosti u návaru s pěti housenkami po TZ



Obr. 4.23 Porovnání tvrdostí návaru s pěti housenkami před a po TZ

Pro žíhání se použila **Pec LMH 04/12** od firmy Lac (obr. 4.24). Jedná se o muflovou laboratorní pec, která je určena pro laboratorní práce s vsádkou. Její složení chrání topné elementy pece. Mufle je izolovaná rohoží z minerálního vlákna a je obložena minerálními deskami. Dveře se otvírají ručně směrem nahoru. Maximální teplota pece je 1200 °C, objem 4 l, příkon 3 kW a napětí 230 V.

Součástí příslušenství je i programovatelný regulátor HT Industry. Do jeho paměti se dá uložit 30 programů. Každý z nich má až 15 kroků. V každém z nich lze nastavit nárůst či pokles teploty za definovaný čas, nárůst či pokles teploty požadovanou rychlostí, délku výdrže na teplotě, skok do jiného kroku, ukončení programu, atd.



Obr. 4.24 Lac LMH 04/12 [21]

## 4.5 Shrnutí výsledků - optimalizace

Experimentální část diplomové práce se zaměřila na citlivost na podnávarové trhliny u kombinace základního a přídavného materiálu. Provedl se základní návar (3 housenky s překrytím 1/3 šířky), kde se sledoval výskyt podnávarových trhlín. Na základní návar se položily další dvě housenky jako žíhací. Ani zde se podnávarové trhliny neprojevíly. Vzorky se podrobily tepelnému zpracování (žihání 690 °C/3 hod) a i zde se prověřoval případný výskyt podnávarových trhlín. Ty nebyly zjištěny ani v tomto případě. Tepelné zpracování této kombinace materiálu bylo doporučeno zadavatelem.

## 4.6 Bezpečnostní a hygienická opatření

### 4.6.1 Druhy nebezpečí [22],[23]

Svařovací pracoviště se musí vždy řešit a zabezpečit tak, aby nedošlo k požáru, výbuchu ani žádnému úrazu (elektrickým proudem, rozstříkem jisker, roztaveného kovu a třísky, pohybujícími se předměty, popálením, výbuchem, atd.). Může dojít i k poškození zdraví jinými rizikovými faktory, např. působením svařovacích aerosolů, záření, hluku či neúnosnými mikroklimatickými podmínkami, případně nadměrnou fyzickou nebo neuropsychickou zátěží a nevyhovujícím osvětlením.

#### **4.6.2 Ohrožení zdraví škodlivinami**

##### Škodliviny svařovacího aerosolu

Inhalace sloučenin šestimocného chromu, které se vyskytují při navařování protikoročních vrstev, vede k různým poškozením. Mezi ně patří např. poškození cest dýchacích (bronchitida, perforace nosní přepážky), u dlouhodobějšího působení může dojít k exémům a dermatitidě na kůži či k tzv. chromovým vředům operátora. Chromové sloučeniny mohou být také silně karcinogenní a mohou vyvolat rakovinu plic.

Nejvyšší přípustná koncentrace plynů, par a aerosolů s toxickým účinkem v pracovním ovzduší a nejvyšší přípustná koncentrace svařovacího dýmu se určuje dle příslušných předpisů (Hygienické požadavky MZ SSR č.7/1978 ve znění úpravy č.7/1985, Vestník MZ SSR a Směrnice MZ ČSR č.66/ 1985 SB. Hygienické předpisy).

Výměna vzduchu na svařovacím pracovišti, resp. ve svařovně musí zabezpečit, aby se nepřekročily nejvyšší přípustné koncentrace. Hraniční hodnoty jsou přípustné jen pro krátkodobé výkyvy koncentrace. (Hygienické požadavky MZ SSR č.7/1978 ve znění úpravy č.7/1985, Vestník MZ SSR a Směrnice MZ ČSR č.66/ 1985 SB. Hygienické předpisy).

Škodlivé působení svářečských aerosolů na operátora se musí omezit volbou technologického postupu svařování s ohledem na výběr přídavného materiálu s optimálními hygienickými charakteristikami (Katalog pevných a plyných škodlivin, VÚZ Bratislava). Dále omezením přístupu škodlivin k dýchací zóně operátora, větráním, používáním osobních ochranných pracovních prostředků (ČSN 05 0601:1993) a doplňujícími opatřeními na omezení zvýšeného nebezpečí otravy (ČSN 05 0601:1993).

## 5 ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat parametry i metodu navařování výstupní části nízkotlaké sekce rotoru turbíny protikorozním a protierozním náwarem. Nízkotlaká sekce turbíny pracuje s vlhkou parou, která zde kondenzuje a působí zde korozi. Proto se vytvořil na základním materiálu z levnější, nízkolegované, žárovečné oceli korozivzdorný návar z austenitické oceli typu 18/8. Díky návaru ve více vrstvách je ale možné očekávat v základním materiálu podnávarové trhliny.

Pro navařování byla zvolena ze všech možných metod metoda navařování automaticky pod tavidlem pro její nejvyšší výkon a nejkratší svařovací čas. Provedl se základní návar (3 housenky s překrytím 1/3 šířky). Na ten se položily ještě dvě žihací housenky, pod kterými se dá předpokládat vznik podnávarových trhlin v základním materiálu. Přítomnost podnávarových trhlin se sledovala v neleptaném i v naleptaném stavu, provedla se dokumentace makrostruktury a ani v jednom případě se podnávarové trhliny neprokázaly. To svědčí o tom, že parametry navařování se zvolily vhodně pro danou kombinaci materiálu a není třeba je optimalizovat. Při těchto parametrech navařování dochází ke zředění svarového kovu o hodnotě 37 % v první vrstvě návaru, v druhé vrstvě by bylo zředění 14%.

Po navaření se provedlo měření tvrdosti návaru přes TOO do základního neovlivněného materiálu. V oblasti austenitického návaru je tvrdost nižší, kolem 200 HV 10, při přechodu do TOO se tvrdost prudce zvyšuje na hodnotu okolo 450 HV 10 a poté s přechodem do základního materiálu hodnoty tvrdosti plynule klesají k 250 HV 10. Vtisky do materiálu se neprovedly v jedné přímce, aby nedošlo k vzájemnému ovlivnění hodnot tvrdosti.

Vzorky se poté podrobily tepelnému zpracování, konkrétně žihání. Náběh na teplotu 690 °C trval 2 hodiny, pak následovala tříhodinová vydrž a pokles teploty trval 4 hodiny. I zde se zjišťoval výskyt podnávarových trhlin a ani v tomto případě se trhliny neobjevily. Tepelné zpracování této kombinace materiálu bylo optimální. Opět se změřila tvrdost a při porovnání tvrdosti materiálu před a po tepelném zpracování je vidět, že se tvrdost materiálu po žihání snížila o 100 – 200 HV 10.

## Seznam použitých zdrojů [24]

1. *Svařování a související činnosti v oblasti výroby energetických a plynárenských zařízení*. Hrotovice: [s.n.], 2003. Svařování a výroba rotorů turbín a turbokompresorů, s. 43-48.
2. *Arabelle, nejvýkonější parní turbína na světě* [online]. 2007 [cit. 2011-03-30]. All for power informační portál a časopis. Dostupné z WWW: <<http://www.allforpower.cz/clanek/arabelle-nejvykonnejsi-parni-turbina-na-svete/>>.
3. *Technologie I*. [s.l.]: SNTL, 1982. Spojování a tepelné dělení kovů, s. 188-195.
4. *SVAROVÁNÍ MIG/MAG* [online]. 2011 [cit. 2011-04-16]. Safework. Dostupné z WWW: <<http://www.safework.cz/svarovani-mig-mag/>>.
5. Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: ZEROSS 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
6. *Příručka pro svařování pod tavidlem*. ESAB Vamberk, spol. s r.o. 2009. 94 s.
7. *Tavidla pro svařování a navařování* [online]. 2008 [cit. 2011-04-06]. The Linde Group. Dostupné z WWW: <<http://www.linde-profilhaus.cz/nabidka/svarovaci-technika/materialy-pro-svarovani/tavidla-pro-svarovani-a-navarovani.htm>>.
8. *Navařování* [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Navařování>>.
9. BLAŠKOVIČ, Pavel, Miroslav KOSEČEK a Ladislav VEHNER. *Zváranie pod tavidlom*. [s.l.]: [s.n.], 1970. Naváranie pod tavidlom, s. 86-93.
10. *Kavitace* [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kavitace>>.
11. *Koroze* [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>>.
12. *Koroze* [online]. 2008 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.komenskeho66.cz/materialy/chemie/WEB-CHEMIE9/koroze.html>>.
13. *Technické informace* [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://tesydo.cz/dokumenty/technicke-informace/vypis.php>>.
14. KUNCIPÁL, Josef et al. *Teorie svařování*. [s.l.]: SNTL, 1986. Podnávarové trhliny, s. 265. Teorie svařování – josef kuncipál a kol.
15. OCHODEK, Vladislav. *Svařitelnost materiálu a praskavost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2000. Materiály a jejich svařitelnost, s. 103-113. ISBN 80-85771-85-3.

16. Kolektiv autorů. Materiály a jejich svařitelnosti: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: Zeross, leden 2001. 296 s. ISBN 80-85771-85-3.
17. PILOUS, Václav. *Nové nízkouhlikové oceli feritické báze a jejich vzájemná svařitelnost* [online]. ©2002 [cit. 2011-03-28]. Konstrukce. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/nove-nizkouhlikove-oceli-feriticke-baze-a-jejich-vzajemna-svaritelnost>>. ISSN 1803-8433.
18. *SVARINFO - váš zdroj informací o svařování, server ze skupiny SVARBAZAR* [online]. 2006 [cit. 2011-03-25]. SVARINFO. Dostupné z WWW: <<http://svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=cekv>>.
19. *SVARINFO - váš zdroj informací o svařování, server ze skupiny SVARBAZAR* [online]. 2006 [cit. 2011-03-25]. SVARINFO. Dostupné z WWW: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=predehrev>>.
20. *Svař. vysoce.leg1\_2007* [online]. 2007 [cit. 2011-03-25]. Svařování vysokolegovaných ocelí. Dostupné z WWW: <[http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf)>.
21. *Pec laboratorní muflová LAC LMH 04/12, Industry - Muflové pece* [online]. 2011 [cit. 2011-05-21]. MERCI E-shop. Dostupné z WWW: <<http://eshop.merci.cz/detail11086/muflove-pece/pec-laboratorni-muflova-lac-lmh-04/12-industry>>.
22. *Zváranie BEZPEČNOSTNÉ USTANOVENIA PRE ZVÁRANIE KOVOV: Projektovanie a príprava pracovísk*. [s.l.]: [s.n.], 1993. 59 s.
23. *Chrom* [online]. 2011 [cit. 2011-04-06]. Wikipedie otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Chrom>>.
24. *Citace 2.0 - vše o citování literatury a dokumentů* [online]. 2004 [cit. 2011-03-29]. Generátor citací. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php>>.

## Seznam použitých symbolů a zkratk

Označení	Jednotka	Popis
a	[mm]	Převýšení
A <sub>1</sub>		Oblast teploty 723°C v diagramu Fe-Fe <sub>3</sub> C
A <sub>3</sub>		Počátek překrystalizace austenitu na ferit v diagramu Fe-Fe <sub>3</sub> C
A <sub>F</sub>		Izoterma ohraničující oblast výskytu feritu delta
A <sub>p</sub>		Izoterma ohraničující oblast precipitace
A <sub>S</sub>		Izoterma ohraničující oblast natavení sulfidových vměstků
APT		Automaticky pod tavidlem
b	[mm]	Šířka svaru
B	[-]	Koeficient bazicity
°C		Stupeň Celsia
C <sub>ekv</sub>	[Hm. %]	Uhlíkový ekvivalent
C <sub>r<sub>ekv</sub></sub>		Chromový ekvivalent
ΔI <sub>a</sub>	[A]	Rozdíl proudů u strmé charakteristiky
ΔI <sub>b</sub>	[A]	Rozdíl proudů u ploché charakteristiky
Δl		Změna délky oblouku
ΔU	[V]	Rozdíl napětí
d	[mm]	Průměr svařovacího drátu
h	[mm]	Hloubka závaru do základního materiálu
HD		Úroveň difúzního vodíku
Hm. %		Hmotnostní procento
I	[A]	Proud
l <sub>o</sub>		Ustálená délka oblouku
l <sub>1</sub>		Změněná délka oblouku
MIG/MAG		Metal Inert Gas/Metal Aktiv Gas
N <sub>i<sub>ek</sub></sub>		Niklový ekvivalent
PA		Poloha svařování vodorovná shora
PB		Poloha svařování vodorovná šikmo shora (45°)
PM		Přídavný materiál
Ppm		Parts per milion (jedna miliontina)
Q <sub>s</sub>	[kJ·mm <sup>-1</sup> ]	Hodnota tepelného příkonu
s		Sekunda
S <sub>N</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha návaru
S <sub>Z</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha závaru
SAW		Submerged arc welding
t	[mm]	Tloušťka materiálu
TIG		Tungsten Inert Gas
TOO		Tepelně ovlivněná oblast
T <sub>p</sub>	[°C]	Teplota přehřevu
U	[V]	Napětí
v <sub>s</sub>	[m·h <sup>-1</sup> ]	Svařovací rychlost
x		Strmá charakteristika
y		Plochá charakteristika
ψ	[-]	Součinitel formy svaru
Z	[%]	Zředění
ZM		Základní materiál

## **Seznam příloh**

- Příloha 1 Materiálový list oceli 30CrMoNiV5-11
- Příloha 2 Tavidlo OP 87
- Příloha 3 Svařovací dráty pro svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí pod tavidlem

# Příloha 1

<b>SIEMENS</b>		<b>Ocel</b>		Norma: Označení: 30CrMoNiV5-11 WNr.: 1.6946									
Chemické složení (hm. %)													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	ostatní				
0,28-0,34	max 0,15	0,30-0,80	max 0,010	max 0,007	1,10-1,40	1,00-1,20	0,50-0,75	0,25-0,35	Al: ≤ 0,010				
Normy DIN													
-													
Mechanické vlastnosti													
Tloušťka směrodatného průřezu $t_n^{(1)}$					1500								
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] min					550								
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]					700-850								
Tažnost A [%] min		podél min			15								
		napříč min			12								
Kontrakce Z [%] min		podél min			40								
		napříč min			40								
Nárazová práce KV [J] min		podél min			24								
		napříč min			16								
Min. hodnoty meze kluzu $R_p 0,2$ [MPa] při zvýšených teplotách													
Teplota [°C]		20	100	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] min <sup>1)</sup> pro $t_n \leq 1500$ mm		550	525	500	480	465	445	425	400	365	-	-	
ZADEJTE POŽADOVANOU BEZPEČNOST		1,5											
Min. hodnoty dovoleného napětí v [MPa] odvozené od meze kluzu $R_p 0,2$ pro danou bezpečnost													
Teplota [°C]		20	100	200	250	300	350	360	400	450	500	550	
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] min <sup>4)</sup> pro $t_n \leq 1500$ mm		367	350	333	320	310	297	293	283	267	243	-	
$\sigma_{A1}$ : 1% mez tečení [MPa]													
Teplota [°C]		400		450		500		550		600			
$R_{mT}/10^2$		529		458		374		281		223			
$R_{mT}/3 \cdot 10^2$		512		435		346		249		192			
$R_{mT}/10^3$		491		409		315		215		158			
$R_{mT}/3 \cdot 10^3$		472		384		285		185		129			
$R_{mT}/10^4$		449		355		253		153		99			
$R_{mT}/3 \cdot 10^4$		427		329		224		125		75			
$R_{mT}/10^5$		402		299		192		96		52			
$R_{mT}/2 \cdot 10^5$		387		282		174		81		40,5			
$R_{mT}/3 \cdot 10^5$		379		272		164		73		-			
Min. dovolené napětí v [MPa] odvozené od meze tečení $\sigma_{A1}$ : 1% pro danou bezpečnost a $R_{mT}/200\ 000$													
Teplota [°C]		360		400		450		500		550		600	
$R_{mT}/2 \cdot 10^5$		293,3		258,0		188,0		116,0		54,0		27,0	

## Příloha 2

### OP 87

Vápenato-křemičité

Tavidlo



Normy:	DIN EN 760 DIN 32522	SA CS 2 99 CrAC B CS 5 99545 AC 10 KMB
--------	-------------------------	---

#### Oblast použití a vlastnosti:

OP 87 je aglomerované tavidlo pro plátování s Cr, CrNi a CrNiMo přídavnými materiály. Tavidlo je také možné pro svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí se svařovacím drátem dle DIN EN 12072. Tavidlo má sytkou hmotnost ca. 1 kg/dm<sup>3</sup>. Spotřeba tavidla ca. 650 g pro kg svarového kovu. OP 87 obsahuje Cr. Tavidlo je možné svařovat se stejnosměrným i střídavým proudem. Na základě malého závaru je vhodnější při plátování svařovat stejnosměrným proudem (- pól). Zamezení navlhavosti zajistí dodávka v plechových sudech.

Vlhké tavidlo dosušit při 300–350 °C.

Zrnitost podle DIN EN 760: 2–20

#### Hlavní složky:

SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub>	CaO + MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO	CaF <sub>2</sub>
35 %	20 %	25 %	10 %

Index bazicity podle Boniszewski: ca. 1,0

Certifikace: TÜV, UDT

Odkazy k certifikaci jsou uvedeny v dodatku.

Balení: Tavidlo je dodáváno v PE-pytlicích obsah 40 kg

#### Analýza svarového kovu (hodnoty v %):

Se svařovacím drátem	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
OE-B 23 11 L Nb*	<0,06	<1,5	1,2–2,4	17–21	8–11	–	>8 x C
OE-B 24 12 nC*	<0,04	<1,5	1,9–2,9	19–21	10–12	–	–
OE-B 19 12 3 nC**	<0,04	<1,15	1,9–2,9	17–19	11–13	2,5–3	–

\* odpovídá první housence na základním materiálu H II

\*\* odpovídá druhé housence

#### Analýza svarového kovu (hodnoty v %):

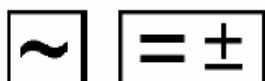
Se svařovacím drátem	C	Cr	Ni	Mo	Nb
OE-19 9 nC	<0,04	>18	>9	–	–
OE-19 9 Nb	<0,07	>18	>9	–	>8 x C
OE-19 12 3 nC	<0,04	>18	>10	>2,5	–
OE-19 12 3 Nb	<0,07	>18	>10	>2,5	>8 x C

#### Mechanické vlastnosti pro stav po svaření:

Se svařovacím drátem	Mez pevnosti v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]	0,2% Mez kluzu [N/mm <sup>2</sup> ]	Tažnost A <sub>s</sub> [%]	Rázová práce ISO-V [Joule] + 20 °C
OE-19 9 nC	>510	>320	>30	>55
OE-19 9 Nb	>550	>350	>25	>45
OE-19 12 3 nC	>510	>320	>25	>55
OE-19 12 3 Nb	>550	>350	>25	>45

Dbejte na přípustné provozní teploty pro přídavné materiály a základní materiál.

Proud/Polarita:



## Příloha 3

### Svařovací dráty pro svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí pod tavidlem



Svařovací dráty pro svařování pod tavidlem:

Art:

Svařovací dráty, poměděné popř. leskle tažené, v kombinaci s tavidly uvedenými na stranách D 56 a D 64. Dodávají se jak je uvedeno v následující tabulce

Svítek Označení	Rozměry vnitřní průměr x šířka [mm]	Hmotnost [kg]	Průměr svařovacího drátu [mm]
Svítek 10 (Vinutí C)	220 x 50	10	2,0-4,0
Svítek 20 (Vinutí B)	300 x 70	20 (25)	2,0-4,0

Další druhy dodávek viz. str. 19

Chemické složení svařovacího drátu:

Svařovací dráty pro svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí pod tavidlem

Obchodní označení	Označení DIN EN 12072	Werkstoff- Nr.	Hmotnost-%							
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	N
OE-19 9 nC	S 19 9 L	1.4316	≤0,025	0,4	1,0	19	9	-	-	-
OE-19 9 Nb	S 19 9 Nb	1.4551	≤0,05	0,4	1,3	19	9	-	>12 C	-
OE-19 12 3 nC	S 19 12 3 L	1.4430	≤0,025	0,4	1,3	19	12	2,7	-	-
OE-19 12 3 Nb	S 19 12 3 Nb	1.4576	≤0,05	0,4	1,3	19	12	2,7	>12 C	-
OE-24 12 nC	S 23 12 L	1.4332	≤0,025	0,4	1,5	24	13	-	-	-
OE-23 3 nC	S 22 9 3 N L	~1.4462	≤0,025	0,2	2,0	23	9	3,0	-	0,15
OE-20 16 nC	S 20 16 3 Mn L	1.4455	≤0,025	0,2	7,0	20	16	3,0	-	0,15
OE-22 12	S 22 12 H	1.4829	≤0,12	1,0	2,0	22	12	-	-	-

Svařovací dráty pro svařování slitin niklu pod tavidlem

Obchodní ozna- čení	Označení DIN EN 12072	Werkstoff- Nr.	Hmotnost-%								
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	N	
NIFIL 600	-	2.4806	≤0,15	0,2	3,0	20	>65	-	-	2,5	-
NIFIL 625	-	2.4831	≤0,025	0,2	0,2	22	>60	9,0	3,5	-	-

Páskové elektrody pro plátování pod tavidlem:

Typ

Pásky, leskle tažené, pro kombinaci s tavidlem Oerlikon OP 87. Dodávají se v prstencích s vnitřním průměrem 300 mm v rozměrech 0,5x30 mm a 0,5x60 mm. Další vinutí a rozměry na vyžádání.

Obchodní označení	Werkstoff- Nr.	Hmotnost-%							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo		
OE-B 19 9 Nb	1.4551	≤0,025	0,3	1,8	19	10	-	-	0,6 Nb
OE-B 19 12 3 nC	1.4430	≤0,025	0,4	1,3	19	12	2,7	-	-
OE-B 24 12 nC	1.4332	≤0,025	0,4	1,5	24	13	-	-	-
OE-B 23 11 LNb	1.4556	≤0,025	0,3	1,9	23	12	-	-	0,8 Nb
OE-B 20 25 Cu	1.4519	≤0,025	0,3	2,5	20	25	4,5	-	1,5 Cu