



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

+SVAŘOVÁNÍ TLAKOVÝCH NÁDOB

WELDING OF PRESSURE VESSELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin MÁČA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc

BRNO 2014

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na technologii svařování tlakových nádob. Jako tlaková nádoba byla zvolena nádoba na dokvašování piva (tzv. CK tank). Dále se v práci zmiňují metody zkoušení svarů a legislativa tlakových nádob, zpracován návrh PWPS a provedeny metalografická dokumentace jednoho konkrétního svaru.

Klíčová slova

svařování, tlaková nádoba, cylindrokónické tanky

ABSTRACT

The work is focused on the technology of welding pressure vessels. The chosen pressure vessel was one for beer fermentation (also known as CK tank). In addition there are methods of weld inspection and legislative rules for pressure vessels, also mentioned in this work. A metallographic documentation was compiled for a suggested weld.

Key words

welding, pressure tank, cylindrical-conical vessel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁČA, M. *Svařování tlakových nádob*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Svařování tlakových nádob** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Máca

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Ladislavu Daňkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Zároveň bych chtěl poděkovat členům své rodiny za poskytnuté zázemí a podporu po celou dobu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
1 ÚVOD.....	8
2 Společnost EBIA CZ [21].....	9
3 Tlakové nádoby pro potravinářské účely.....	10
3.1 Legislativa tlakových nádob [6, 15]	10
3.2 Materiály pro tlakové nádoby [17, 19]	12
3.3 Metody svařování	12
3.4 Kontrola svarových spojů	18
4 Svařitelnost materiálu	21
4.1 Trhliny za horka.....	21
5 Vlastní návrh svařování tlakové nádoby	23
5.1 Výběr přídatného svařovacího materiálu [24]	23
5.2 Posouzení struktury svaru	23
6 Experiment	25
6.1 Metoda a parametry svařování.....	25
6.2 Hodnocení svarů	26
6.3 Metalografické hodnocení	27
7 ZÁVĚR.....	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	31
Seznam obrázků.....	33
Seznam tabulek.....	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	34
SEZNAM PŘÍLOH	35

1 ÚVOD

Svařování je velmi progresivní obor. S rozvojem nových technologií a materiálů je v dnešní době možno svařovat rychleji a efektivněji. Svařování vysokolegovaných austenitických ocelí je dnes již běžná praxe. Jejich užití je díky jejich vlastnostem velmi univerzální. Od nerezových rámů, přes zábradlí, bazény až po tlakové nádoby. V této práci byla zpracovávána tlaková nádoba na kvašení piva (tzv. CK-tank). Jde o nádobu s válcovým pláštěm a kuželovým dnem. Díky tomuto inovativnímu tvaru dochází k přirozené cirkulaci kapaliny v nádobě, což urychluje proces výroby piva. Svařování takovéto nádoby je velmi náročné ať už po technické stránce, tak i po stránce legislativní. Svařování tenkých plechů je obecně velmi obtížné a v případě nerezové oceli je o to náročnější zejména proto, že austenitická nerezavějící ocel typu 18Cr/8Ni má specifické tepelné vlastnosti (malou tepelnou vodivost a velkou tepelnou roztažnost), které způsobují značné deformace i nebezpečí vzniku vad, jako je třeba propadnutí svar apod., to klade velké nároky na vhodnou volbu umístění a provedení svaru. Svary jsou důkladně kontrolovány, ve většině případů i několika metodami zároveň, aby se předešlo případnému selhání po dobu životnosti nádoby.

2 SPOLEČNOST EBIA CZ [21]

Společnost Ebia CZ se zabývá zámečnickou výrobou, vývojem a konstrukcí zařízení a doplňků z nerezové oceli. Mezi její sortiment patří např. nerezové bazény, schody, zábradlí a v poslední době i tlakové nádoby. Tlakové nádoby v převážné většině pro pivovarnický průmysl. Firma má profesionální zázemí a dokáže zpracovávat i složitější součásti, které vyžadují návrh, vývoj a konstrukci.



Obr. 1 - Varna na pivo [21]



Obr. 2 - Nerezový bazén [21]

3 TLAKOVÉ NÁDOBY PRO POTRAVINÁŘSKÉ ÚČELY

3.1 Legislativa tlakových nádob [6, 15]

Tlakové stabilní netopené nádoby (dle ČSN 690012).

Dle ČSN EN 286-1 se za takovouto nádobu považuje každá nádoba kruhového průřezu o objemu větším než 10 litrů, s provozním tlakem vyšším než 0,7bar (MPa) a teplotou média do 100°C.

Povinná výbava tlakových nádob.

Dle vyhlášky Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu č. 18/1979 Sb. A zákona č.174/1968 Sb. musí být každá tlaková nádoba opatřena:

1. Uzavírací a vypouštěcí armaturou
2. Manometrem (tlakoměrem)
3. Pojistným zařízením (např. přetlakový ventil)
4. Odvětrávacím zařízením
5. Příslušnou dokumentací prokazující způsobilost tlakové nádoby k provozu v rozsahu dle ČSN 690010-7.2

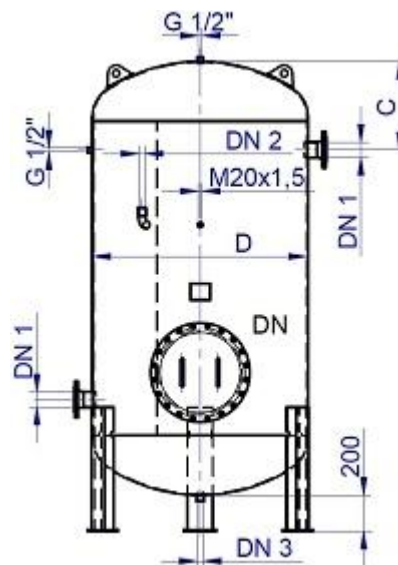
Není nutné, aby zařízení bylo vybaveno tlakoměrem a pojistným zařízením, pokud zdroj tlaku (např. čerpadlo) nepřesahuje maximální dovolený tlak v nádobě a je-li zároveň vyloučena jakákoliv možnost jiného zvýšení tlaku v nádobě.

• Dokumentace

Každá nádoba musí mít revizní knihu, jejíž součástí je i zpráva o výchozí a provozní revizi. Po instalaci zákonné bezpečnostní a měřicí armatury (manometr a pojistný ventil) na tlakovou nádobu se provádí tlaková zkouška. Protokol o tlakové zkoušce je nedílnou součástí dokumentace tlakové nádoby.

• Tlakoměr

Je vybaven šroubením na připojení k tlakové nádobě. U normalizovaných tlakoměrů se používá závit 1/4", M20x1,5 apod. Aby odpovídal tlakoměr normě ČSN 690010-5.2, musí být rozsah stupnice takový, aby se měřený tlak pohyboval ve druhé třetině rozsahu stupnice. Nejvyšší přípustný pracovní tlak je z hlediska bezpečnosti nádoby označován na stupnici červenou značkou.



Obr. 3 Schéma použitých předepsaných přírub a závitů netopné tlakové nádoby [15]

- **Pojistný ventil**

Musí být volen tak, aby se otevíral při dosažení nejvyššího pracovního tlaku, který je pro danou nádobu povolen. U přímočinných pojistných ventilů je povoleno při otevírání ventilu krátkodobé překročení nejvyššího tlaku o 10%.

- **Provoz tlakových nádob**

Řídí se normou ČSN 690012 a návodem na obsluhu a údržbu, který vypracovává zpravidla výrobce dané tlakové nádoby (popřípadě dovozce, nebo prodejce nádoby). Zpravidla je vyžadována kontrola (vnější vizuální) nejméně jednou ročně, jednou za pět let potom zkouška těsnosti, v některých případech může být vyžadována i vnitřní revize a opakovaná tlaková zkouška.

- **Kontrola tlakoměrů a pojistných ventilů**

Tlakoměr se kontroluje jednou za tři měsíce vynulováním za pomoci trojcestného ventilu připojeného pod tlakoměrem, nebo úplným vypuštěním tlaku z nádoby. Minimálně jednou za dva roky se poté porovnává provozní tlakoměr se zkušebním tlakoměrem. Pokud při vynulování neklesne ručka tlakoměru pod první dílek stupnice, nebo je-li rozdíl při tlakové zkoušce vyšší než 5% rozsahu stupnice kontrolovaného tlakoměru, musí být takový tlakoměr vyměněn. U pojistných ventilů se zkouška provádí při provozním tlaku nadlehčením kuželky ventilu. Pružinové pojistné ventily se takto zkoušejí alespoň jednou za měsíc. Všechny revize a zkoušky se zapisují do provozního deníku tlakové nádoby.

- **Druhy revizí a zkoušení nádob**

Výchozí revize se provádí před uvedením nádoby do provozu. Provozní revize se provádí do dvou týdnů od uvedení nádoby do provozu. Další pravidelné revize se provádějí maximálně do jednoho roku od předchozí.

Provozní revizí se kontroluje zejména:

- Celkový stav nádoby, bezpečnostního, uzavíracího a regulačního zařízení, měřicích přístrojů, atd.
- Vizuální kontrola zevnějšku nádoby (vnější mechanické poškození, rez, a podobně)
- Způsob provozu
- Zda jsou výrobní štítky čitelné a nepoškozené
- Zda jsou zařízení pravidelně kontrolována a zda je správně vedena předepsaná dokumentace

3.2 Materiály pro tlakové nádoby [17, 19]

Jako materiál byla zvolena nerezová chrom niklová ocel 1.4301. Je odolná proti korozi v mnoha prostředích i při kontaktu s mnoha korozivními látkami, mezi něž patří i kyseliny, přirozeně se vyskytující v potravinách. Proto se využívají v mnoha aplikacích v potravinářském průmyslu. Ocel také velmi dobře odolává vysokým teplotám, ale nedoporučuje se ji používat při teplotách nad 425°C, pokud je v kontaktu s vodou. Dobře se tváří a má dobrou svařitelnost.

Tabulka 1 - Chemické složení nerez. oceli 1.4301 [19]

Prvek	C	Cr	Mn	Si	P	S	Ni	N
hmotnostní %	0,07	18,50	2,00	1,00	0,05	0,02	10,50	0,11

Tabulka 2 - Fyzikální a mechanické vlastnosti nerez. oceli 1.4301 [19]

Hustota ρ	Teplota tavení T_m	Teplotní roztavnost α	Tepelná vodivost λ	Mez kluzu R_e	Pevnost v tahu R_m	Tažnost A
8,00g/cm ³	1450°C	17,2e-6/K	16,2W/m K	230MPa	520- 720MPa	45%

3.3 Metody svařování

Při svařování je důležité volit vhodnou metodu svařování a přídavný svařovací materiál, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností výrobku. V úvahu se berou mechanické vlastnosti základního i přídavného materiálu, zejména jejich tažnost a pevnost. Protože při svařování, chladnutí svaru vznikají značná tahová napětí a to zejména v tepelně ovlivněné oblasti.

3.3.1 Svařování obalenou elektrodou (111) [2, 20]

Metoda svařování obalenou elektrodou pracuje na principu hoření oblouku mezi základním materiálem a elektrodou. Obalená elektroda se skládá z jádra a obalu. Jádro se odtavuje a slouží zároveň jako přídavný materiál. Obal zajišťuje tvorbu ochranné atmosféry, která brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku. Dále obal podporuje hoření a může také obsahovat legující prvky. Jde sice o nejstarší metodu svařování elektrickým obloukem, ale díky univerzálnosti svého využití na různé materiály a v téměř jakékoli pozici je hojně využívána i dnes. Svařovací zdroj může být na stejnosměrný i střídavý proud. Elektrody se nejčastěji vyrábějí buď lisováním a vysušením, nebo máčením, usušením a obroušením. Běžné velikosti elektrod jsou: délka od 150 do 450mm, průměry od 1,6 do 8mm.



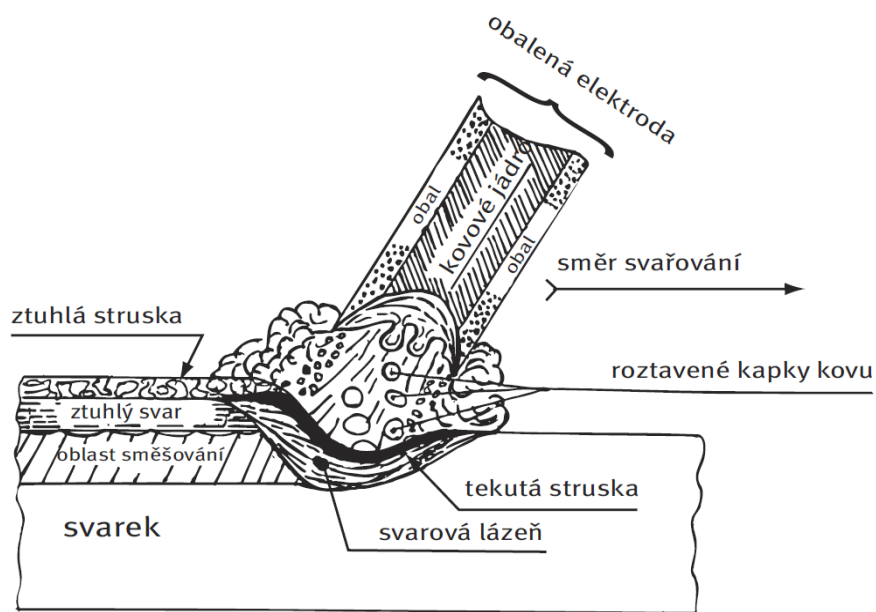
Obr. 4 -Svařování obalenou elektrodou [20]

Hlavní výhody svařování obalenou elektrodou:

- Zařízení ke sváření je malé a lehce přenosné
- Možnost svařovat téměř jakýkoliv materiál
- Svařování v mnoha polohách
- Levné pořizovací náklady

Hlavní nevýhody svařování obalenou elektrodou:

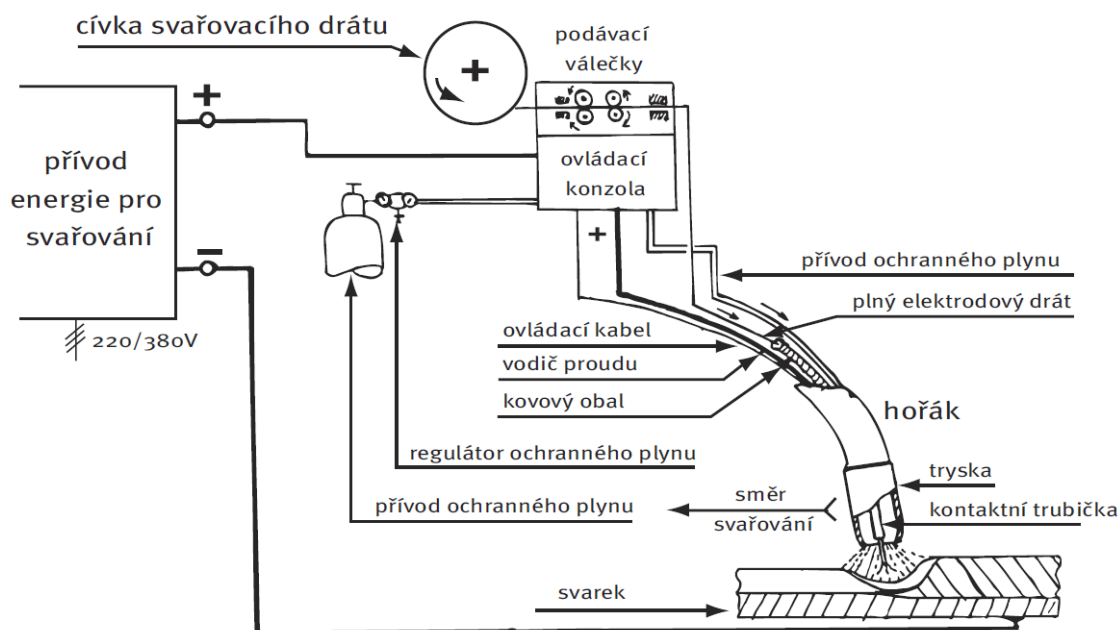
- Na povrchu svaru vzniká struska, kterou je nutno pečlivě odstranit před aplikací další vrstvy kovu
- Elektrody mohou lehce navlhnout a nebudou správně hořet
- Nelze svařovat tenkostěnné materiály
- V porovnání s ostatními metodami svařování je pomalá



Obr. 5 Schéma svařování obalenou elektrodou [23]

3.3.2 Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou (131,135) [1, 7]

Tato metoda se může dále rozdělovat podle přídavného materiálu nebo plynu použitého jako ochranná atmosféra. Pokud bude užitý inertní plyn (nejčastěji Helium, nebo Argon), který nebude reagovat s tavnou lázní, poté se tato metoda nazývá MIG (Metal Inert Gas). Pokud bude užit plyn, který se bude aktivně podílet na metalurgii svaru (např. CO₂), půjde o metodu označovanou jako MAG (Metal Aktiv Gas). Přídavný materiál se volí vzhledem k základnímu materiálu (pro nerez. ocel bude použit přídavný materiál s podobným chemickým složením).



Obr. 6 Schéma svařování v ochranné atmosféře [23]

Hlavní výhody svařování MIG/MAG:

- Dosahuje se vysokých rychlostí svařování
- Svařování je nenáročné, proto se často automatizuje
- Strojové svařování dosahuje vysoké kvality a rychlosti
- Vyšší kvalita svarového kovu díky ochranné atmosféře
- Před aplikací další vrstvy svarového kovu není třeba odstraňovat strusku
- U moderních přístrojů plynulá regulace svařovacích podmínek
- Možnosti svařování: CMT, sprcha, pulz, zkratové a nezkratové svařování
- Nízké nároky na zručnost svářeče

Hlavní nevýhody svařování MIG/MAG:

- Vysoká pořizovací cena svařovacího aparátu
- Nízká mobilita celého zařízení
- Drahá pořizovací cena inertních plynů

3.3.3 Svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou (141) [3, 13, 23]

Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. V Evropě je metoda běžně označována zkratkou TIG (Tungsten Inert Gas), popřípadě WIG (z německého Wolfram Inert Gas). Oblouk je vytvořen mezi netavnou wolframovou elektrodou (obr. 19) a základním materiálem. Elektroda je vyrobena spékáním čistého wolframu, nebo wolframu legovaného oxidy kovů (např. zirkonu, lanthanu, nebo thoria). Inertní plyn v případě této metody nechrání pouze svarový kov, ale i samotnou wolframovou elektrodu. Mezi běžně používané plyny jsou argon a helium, lze ale použít i dusík, nebo vodík, popřípadě směsi těchto plynů. Pro všechny plyny platí, že musí být o vysoké čistotě 99,995%-99,999%. Svar vzniká buď natavením pouze základního materiálu, nebo lze do svarové lázně dodávat přídavný materiál většinou ve formě drátu. Při ručním svařování jsou kladeny vysoké nároky na zručnost svářeče, jelikož je přídavný materiál do místa svaru dopravován manuálně. Vzhledem k nízké proudové hustotě nevznikají velké průvary, ale dosahuje se vysoké kvality spoje. Metoda WIG se kromě svařování vysoko legovaných nerezových ocelí nejčastěji používá ke svařování slitin hořčíku, mědi, bronzu, titanu a dalších neferitických kovů.

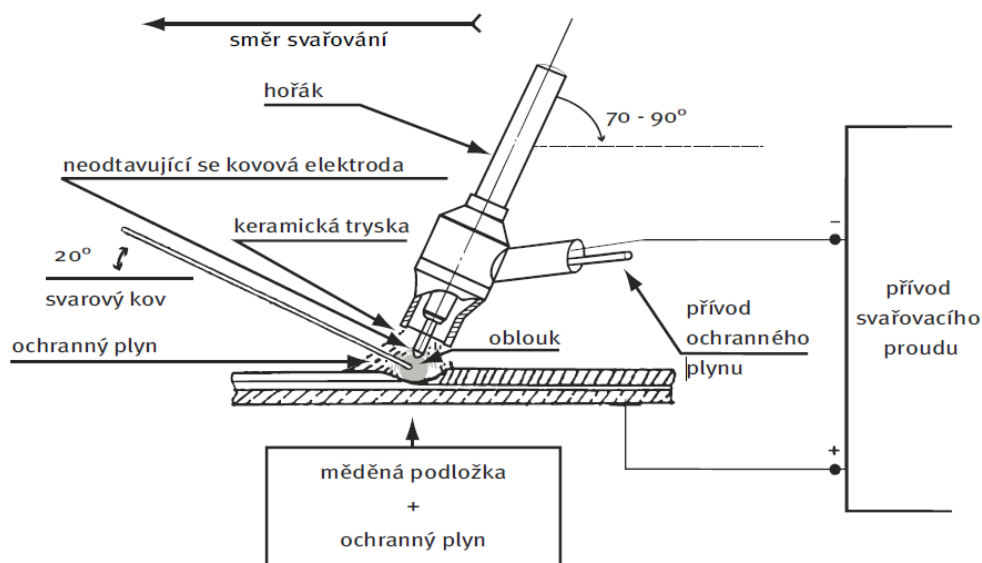
Hlavní výhody WIG (TIG):

- Velmi dobrá kvalita svaru v porovnání se svařováním s tavnou elektrodou
- Přídavný materiál si svářeč dává dle potřeby
- Svařovat lze i bez použití přídavného materiálu
- Metoda je vhodná pro svařování tenkých plechů
- Velmi dobrá regulace vneseného tepla do svarového kovu

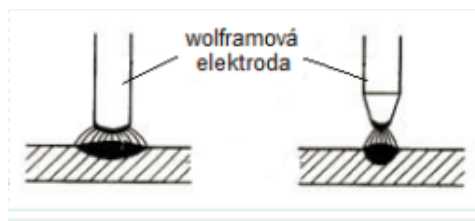
Hlavní nevýhody WIG (TIG):

- Nízká svařovací rychlost
- Vysoká pořizovací cena
- Obtížná automatizace
- Specializovaná zařízení pro WIG svařování jsou komplikovanější a dražší než svářečky pro jiné metody svařování
- Vysoká technická náročnost
- Pro manuální svařování vysoké nároky na zručnost a techniku svářeče

V dnešní době jsou nejpoužívanějšími svařovacími zdroji invertorové svářečky, které mají nízkou hmotnost, ale přitom dosahují vysokých výkonů. Invertorové svářečky mohou využívat stejnosměrný proud (DC), zapojený s přímou nebo nepřímou polaritou. Nejčastěji jsou používány ke svařování oceli, mědi, titanu a jejich slitin. Střídavý proud (AC) se poté užívá ke svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Svářečky mohou být vybaveny pro dvoutaktní, nebo čtyřtaktní proces svařování, regulací dodávky ochranného plynu (předfuk a dofuk).



Obr. 7 - Princip svařování metodou WIG [23]



Obr. 8 – Vliv tvaru hrotu wolframové elektrody na tvar a velikost závaru [14]

3.3.4 Svařování automatem pod tavidlem [10, 11, 12]

Svařování pod tavidlem je automatizovaná metoda svařování. Většinou se užívá ke svařování dlouhých nepřerušovaných svarů na ocelových svařencích nebo ke svařování ocelových trubek. Jde o velice výkonnou metodu s omezeným použitím, lze svařovat pouze v poloze shora. Jako přídavný materiál může být použit drát, nebo svařovací páska, která je podobně jako u metody svařování tavnou elektrodou v ochranné atmosféře automaticky podávána do místa svařování. Při hoření tavidla se uvolňují plyny, které chrání svarový kov, tavidlo zároveň vytváří strusku na povrchu svaru. Granulované tavidlo má několik významů. Kromě vytvoření ochranné atmosféry může také obsahovat legující prvky a dolegovat propalovaný materiál svaru, zároveň izoluje svar od okolní teploty. Záměnou tavidla lze dosáhnout požadovaných vlastností svaru.

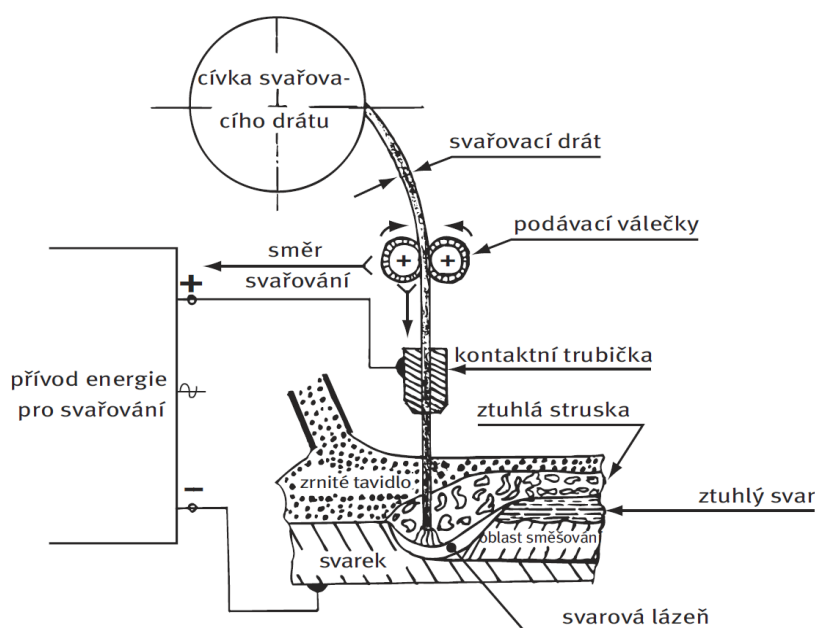
Hlavní výhody metody SAW:

- Vysoká rychlost svařování
- Vysoká jakost svaru (tavidlo může obsahovat legující prvky, které obohacují svarový kov)
- Jednoduchá automatizace, při svařování nerezových ocelí většinou plně automatické systémy

- Vhodná pro svařování dlouhých svarů (např. mostní konstrukce) a rotačních součástí (např. válcové nádoby)
- Při svařování nedochází k rozstříku svarového kovu

Hlavní nevýhody metody SAW:

- SAW je vhodné pouze pro svařování koutových a tupých svarů v poloze šikmo shora a vodorovně shora
- Velké nároky na přípravu povrchů před samotným svařováním
- Obtížná kontrola svařovacích podmínek (svar je po celou dobu svařování zakrytý)



Obr. 9 - Princip svařování pod tavidlem [23]

Aby docházelo ke správnému hoření oblouku, je nutné sladit rychlost posuvu svářecí hlavy s rychlostí podávání drátu. Při tavení elektrodového drátu se taví část tavidla, zbytek je odsáván a vrácen zpět do násypky. Pro svařování pod tavidlem jsou typicky používány dvě konstrukce. První je vozík s vlastním pohonem (typické pro svařování dlouhých konstrukcí mostů), druhá varianta je pevná svařovací hlava. Hlavní pohyb vykonává svařovaný materiál (typické pro svařování rotačních součástí, obr. 10).



Obr. 10- Svařování válcového pláště nádoby metodou pod tavidlem[22]

3.4 Kontrola svarových spojů

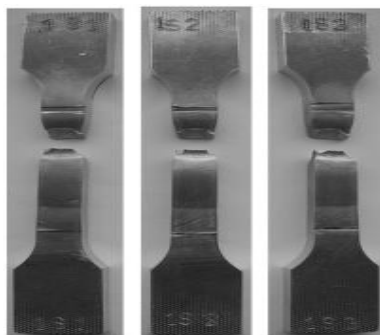
3.4.1 Destruktivní zkoušky svarů [4, 9, 18]

Zkoušky mechanických vlastností svarů. Lze je použít pouze na svařených vzorcích. V praxi se provádí při WPS, ve většině případů pouze jednou pro daný druh svaru a materiálu (pro danou technologii výroby). Při destruktivní zkoušce dojde ke znehodnocení zkoušeného vzorku.

- **Příčná zkouška tahem**

Při zkoušce tahem plynule zatěžujeme zkušební tyč (zkušební tyč je napříč odebrána ze svarového spoje) až do přetržení. Tahovou zkouškou se zjišťují tyto mechanické vlastnosti:

Mez kluzu (R_e), mez pevnosti (R_m), tažnost (A), kontrakce (Z)



Obr. 11 Vzorky pro tahovou zkoušku [9]

- **Zkouška rázem v ohybu**

Zkouška spočívá v přeražení zkušební tyče jedním rázem kyvadlového (Charpyho) kladiva. Zkušební tyč má uprostřed normalizovaný vrub

- **Zkouška s vynucenou příčnou deformací (Transvarestraint)**

Jde o zkoušku svařitelnosti, která je jednou s nejpřísnějších zkoušek svarového spoje. Základní materiál se buď natavuje, nebo se na zkušební vzorek navařuje housenka. Ihned po dokončení svaru, ve chvíli, kdy zdroj tepla (oblouk) dosáhne hrany vzorku, se deska rychle ohne přes ohybník. Ohybník je výměnný, může mít různé poloměry zakřivení, čímž lze měnit deformaci krajního vlákna (ϵ). Deformací je zasažen svarový spoj v široké oblasti a v širokém intervalu teplot. Pod mikroskopem se zjišťuje přítomnost trhlin jak ve svaru, tak v ovlivněné oblasti a jejich celková délka se vynáší do grafu v závislosti na deformaci. Současně je možno sledovat, ve kterém místě a za jakých teplot trhliny vznikají.

- **Metalografická zkouška**

Používá se pro hodnocení příčných, případně podélných řezů svarového spoje. Vzorky pro hodnocení se oddělují metalografickou pilou za silného smáčení chladicí emulzí tak, aby se předešlo tepelnému ovlivnění vzorku. Hodnocené plochy se následně brousí, leští a pro vyvolání makro nebo mikrostruktury leptají vhodným činidlem. Sleduje se výskyt vad, jako jsou např. trhliny, studené spoje, bubliny a jiné typy nesouvislostí ve svaru, stejně jako rozměry a tvar TOO, závar a zředění svarového kovu. Z hlediska

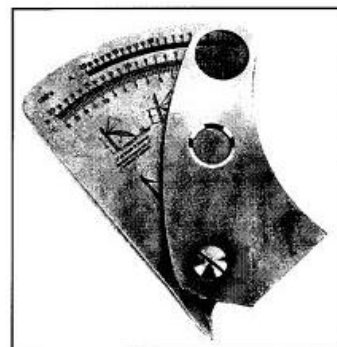
mikrostruktury pak velikost, počet a tvar vměstků, velikost zrn apod. Hodnocení makrostruktury se zpravidla doplní měřením tvrdosti jednotlivých oblastí svaru

3.4.2 Nedestruktivní zkoušky svarů [5, 9, 16]

Nedestruktivní zkoušky jakosti svarů se mohou dále rozdělovat podle druhu vad, které identifikují. K zjišťování povrchových vad se používají vizuální, kapilární a magnetické práškové zkoušky. Ke zjištění vnitřních vad svaru nedestruktivní metodou se musí použít rentgenové nebo ultrazvukové záření.

• Vizuální kontrola

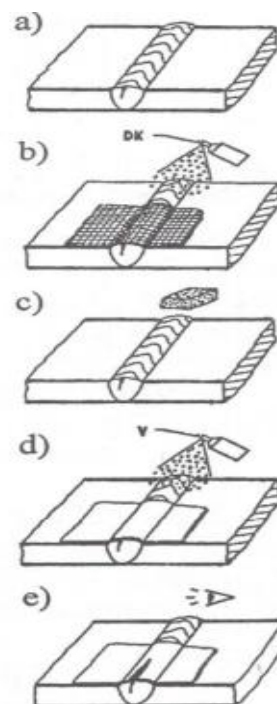
Provádí se vždy ve 100% rozsahu. Jde o metodu zjišťování zjevných povrchových defektů. Kontrola prohlídkou musí být provedena po dostatečném očištění svaru a zároveň před dalšími technologickými operacemi (např. nátěry). Vizuální kontrola může být doplněna o kontrolu vnějších rozměrů svaru. Při vizuální kontrole se používají pomůcky, například etalony a měrky (obr. 11), které jsou určeny k posouzení, zda má svar náležitý tvar a velikost.



Obr. 12 Příklad měrky pro vizuální kontrolu svarů [16]

• Kapilární (penetrační) zkouška

Tato metoda opět zjišťuje pouze vady povrchové, které bezprostředně souvisejí s povrchem (musí být na povrchu otevřeny, aby se do nich dostala detekční kapalina). Před započítím zkoušky musí být povrch svaru řádně očištěn, odmaštěn a osušen (obr. 13 a). Poté se nanese penetrant, který se nechá přibližně 15 minut (záleží na druhu penetrantu, doba aplikace se může pohybovat od 10-30 minut) působit (obr. 13 b). Penetrant se poté důkladně setře (obr. c). Tato fáze bývá kritická, jelikož při nedostatečném odstranění penetrantu dochází k výskytu nepravých indikací, naopak při příliš důkladném vymývání dochází k vyplavení detekční kapaliny z vad. Následně se nanese vývojka (obr. 13 d). Vývojka reaguje s penetrantem zateklým v trhlinách na povrchu materiálu a označuje místo trhliny (obr. 13e). Vývojka se může nanášet natíráním, nástřikem nebo naprašováním (vývojka ve formě prášku).



Obr. 13 Průběh kapilární zkoušky [9]

- **Magnetická prášková zkouška**

Metoda je omezena pouze na feromagnetické (magnetické) oceli. Dokáže odhalit povrchové nebo těsně podpovrchové (max. asi 2-3mm) vady, tedy i vady s povrchem ne přímo spojené. Nejsou u ní kladeny vysoké nároky na přípravu zkoušeného povrchu a jeho čistotu. Metoda není vhodná pro vysokolegovanou austenitickou ocel, hliník nebo měď. Magnetická prášková zkouška probíhá tak, že se na povrch nanese jemný železný prach, který může být rozptýlený ve vhodné kapalině (např. petrolej) – tzv. polévací zkouška, nebo suchý. Zkoušený předmět zmagnetizujeme buď průchodem elektrického proudu (stejnoseměrného nebo střídavého), nebo elektromagnetem (zkoušený předmět umístíme mezi dva póly magnetu). Rozlišujeme tedy dva druhy magnetování: „magnetování proudové“ a „magnetování pólové“. Pokud magnetické siločáry narazí při průchodu feromagnetickým materiálem na vadu (která není feromagnetická, např. trhлина, struska, bublina), tak se magnetické siločáry snaží „obejít“ tuto vadu a vystupují na povrch materiálu, kde tvoří tzv. rozptylové magnetické pole, které je zvýrazněno koncentrací magnetického kovového prášku. Hlavními nedostatky je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých vad a oblých vad. Obtížné je také zaznamenat výsledek zkoušky. Mezi výhody naopak patří malé pořizovací náklady na vybavení, rychlost provedení zkoušky a také schopnost odhalit podpovrchové vady.

- **Zkouška ultrazvukem**

Metoda zkoušení materiálu ultrazvukem je založena na principu šíření mechanického vlnění materiálem a odlišnou rychlostí jeho šíření v různých materiálech. Rozlišujeme dvě základní metody zkoušení ultrazvukem a to metodu průchodovou, kde na jedné straně materiálu vysíláme impuls, na druhé straně je potom umístěna přijímací sonda, která impulsy zpracovává. U druhé metody jsou vysílací i přijímací sonda umístěny na stejné straně materiálu a hovoříme tedy o metodě odrazové. Metoda odrazová je všestranně použitelná, na rozdíl od metody průchodové, která je omezena na použití u výrobků menších tloušťek s rovnoběžnými povrchy. U metody odrazové generátor vysílá krátké ultrazvukové impulsy, které se odrážejí od všech rozhraní (vad i povrchů), vrací se zpět do sondy a je měřen čas mezi vysláním impulzu a jeho odrazem. Nevýhodou je, že výsledky ultrazvukové zkoušky nejsou zpravidla zaznamenávány a tudíž neexistuje trvalý záznam obrazu vad.

- **Zkouška rentgenovým zářením**

Jde o nejstarší metodu nedestructivního zkoušení materiálu, jejíž princip spočívá v pohlcování ionizačního záření (pronikavé elektromagnetické záření) v kontrolované součásti. V místech porušení a vad materiálu je pohlceno méně záření, než v homogenním celistvém materiálu. Zdroj záření je na jedné straně svařence, na straně druhé záření prochází přes detektor (film), na kterém zanechá stopu. V místě vad a ztenčení materiálu není pohlceno tolik záření, na výsledném snímku se budou tyto dutiny a ztenčení jevit jako tmavší místa. Naopak narazí-li záření na vměstek s větší hustotou než je základní materiál (např. vměstky wolframu) projeví se na výsledném snímku jako světlejší místa. Pro kontrolu svarů se nejčastěji používá rentgenové (RTG) nebo gama záření. Jako zdroje jsou používány rentgenové lampy (záření X), je-li použito gama záření, pak vychází z malého radioaktivního zářiče. Jako detektor záření se používá radiografický film.

4 SVAŘITELNOST MATERIÁLU

4.1 Trhliny za horka [17]

Trhliny za horka vznikají jak ve svarovém kovu, tak v teplem ovlivněné oblasti, při ochlazování svarových spojů za vysokých teplot (u ocelí nad 850°C). Hlavní příčinou trhlín za horka je snížení deformační schopnosti zrn kovu a pokles soudržnosti po hranicích zrn při působení vysokých teplot a současně tahové napjatosti a rychlosti deformace. Trhliny za horka se vyskytují mezi teplotou solidu a likvidu. Příčinou trhlín za horka u austenitických ocelí jsou prvky jako S, P, Si, Ti a Nb, které mohou při tuhnutí snižovat plasticitu kovu nebo vytváří se železem nízkotavitelná eutektika, která snižují technologickou pevnost hranice zrn. Lze je rozdělit na:

- **Krystalizační**

Vznikají ve svarovém kovu, který má FCC (plošně středěnou) mřížku v průběhu tuhnutí (krystalizace). Krystalizační trhliny se vyskytují v místech ukončení tuhnutí svaru (střed svarové housenky).

- **Likvační**

Vznikají ve vysokoohřátém podhousenkovém pásmu teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při několikavrstvém svařování. Likvující fázi v ocelích bývají sulfidy, oxisulfidy nebo karbosulfidy.

- **Polygonizační**

Označované též jako trhliny z poklesu tažnosti mohou vznikat jako likvační v TOO základního materiálu nebo ve svarovém kovu při nižší teplotě (~850°C). Polygonizační trhliny jsou charakteristické jen pro vysokolegované austenitické oceli a slitiny niklu.

Krystalizační trhliny se dávají do souvislosti se snížením tažnosti kolem teploty solidu, polygonizační trhliny souvisejí s poruchami na hranicích migrujících zrn při ochlazování v oblasti teploty rekrystalizace. Za hlavní metalurgické příčiny krystalizačních a likvačních trhlín v ocelích se považují prvky S, B, Nb, Ti a Si, které tvoří s železem a s niklem nízkotavitelná eutektika jako například Fe-FeS ($T=988^{\circ}\text{C}$) a Fe-Fe₃P ($T_s=1048^{\circ}\text{C}$). S ohledem na zvýšení odolnosti proti trhlínám se doporučuje obsah S+P menší než 0,02 hm. %. Vazbu síry nejefektivněji zabezpečuje Mn tvorbu sulfidů a MnS s vyšší teplotou tavení ($T=1610^{\circ}\text{C}$). K eliminaci nízkotavitelných sulfidů se vyžaduje poměr $Mn:S > 3$.

Hodnocení náchylnosti ocelí k horkým trhlinám:

Náchylnost svarového spoje v tepelně ovlivněné oblasti k trhlinám za horka lze informativně určit parametrickými rovnicemi jako např. H.C.S.:

$$H.C.S = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) * 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad [\%] \quad (4.1)$$

$$H.C.S = \frac{0,07 \left(0,02 + 0,05 + \frac{1,0}{25} + \frac{10,5}{100} \right) * 10^3}{3 * 2,0 + 19,5} = 0,59$$

Ocel je náchylná k trhlinám za horka když $H.C.S > 4$ (nelegované oceli); u nízkolegovaných oceli $HCS > 1.6$.

Zkoušky náchylnosti k trhlinám za horka lze rozdělit na zkoušky: s vlastní tuhostí, s vynucenou tuhostí, zkoušky s reálným nebo simulovaným svařovacím cyklem. Zkoušky jsou založeny na principu využití deformace (tahové napjatosti), rychlosti deformace nebo kontrakce v oblasti vysokých teplot (teplota solidu). Z nejznámějších je možné uvést Murex, Varestraint, Transvarestraint. Transvarestraint je zkouška se skutečným svařovacím cyklem a aplikací ohybového napětí kolmého na směr svařování. Zkouška se vyhodnocuje podle velikosti deformace ε horní části návaru přitane podle vzorce:

$$\varepsilon = \frac{s}{2R} \quad (4.2)$$

Kde s – tloušťka plechu, R – poloměr ohybu

a délky vzniklých trhlin, jejichž závislost se vynáší do grafu.

K zamezení vzniku horkých trhlin je nutné:

- Snížení měrného příkonu svařování (sníží se množství natavené fáze, stupeň segregace, růst zrna)
- Používat přídavné materiály vysoké čistoty
- Omezit deformace a napětí použitím vhodných technik svařování, tvaru svarového spoje a předehřevu
- Nepoužívat housenky s malým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem, zejména v kořenové oblasti

5 VLASTNÍ NÁVRH SVAŘOVÁNÍ TLAKOVÉ NÁDOBY

5.1 Výběr přídatného svařovacího materiálu [24]

Jako přídatný materiál byl zvolen svařovací drát od firmy ESAB. Dle instrukcí výrobce byl zvolen materiál OK TIGROD 308L. Drát pro svařování austenitických ocelí s velmi nízkým obsahem uhlíku především typu 18Cr8Ni. Svarový kov odolává mezi-krytalové korozi. Je široce používán v chemickém, tak i v potravinářském průmyslu ke svařování nádob a potrubí z oceli 18Cr8Ni. Doporučený plyn je Argon (složení Ar 100%), označení dle ČSN EN ISO 14175 L1.

Tabulka 3 - Typické chemické složení drátu [24]

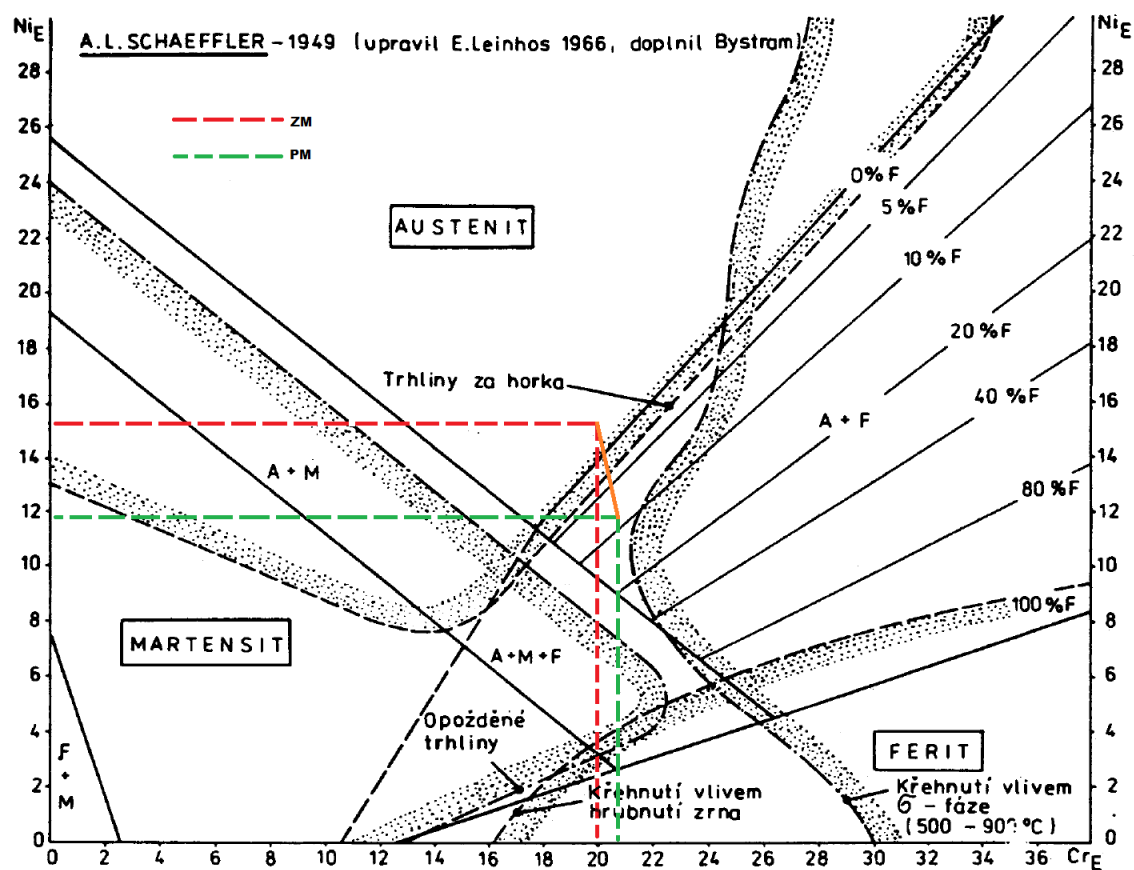
Prvek	C	Si	Mn	Cr	Ni
Hmotnostní %	<0.03%	0.40%	1.80%	20.0%	10.0%

Tabulka 4 - Typické mechanické hodnoty svarového kovu [24]

R _m	R _{p0,2}	A	KV (+20°C; -80°C)
600-645 MPa	320-450 MPa	36-45%	170-200J; 135J

5.2 Posouzení struktury svaru

Z Schaefflerova orientačního strukturního diagramu lze při použití koncentrací prvků základního materiálu (podle materiálového listu) znázornit oblast předpokládané struktury dané oceli. Na obr. 14 je tato oblast vyznačena červenou přerušovanou čarou. Dále je na obr. 14 vyznačena koncentrace prvků přídatného materiálu (zelená přerušovaná čára). Z důvodu, že základní materiál je náchylný na horké trhliny, byl zvolen přídatný materiál tak, aby při jejich smíchání vznikla svarová lázeň o koncentraci prvků, která toto riziko snižuje.



Obr. 14 Schaefflerův diagram [26]

Chromový ekvivalent základního materiálu [26]

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 * Si + 0,5 * Nb + 2 * Ti \quad (5.1)$$

$$Cr_{eZM} = 18,5 + 1,5 * 1,0 = 20,0$$

Niklový ekvivalent základního materiálu [26]

$$Ni_e = Ni + 0,5 * Mn + 30 * C + 30 * (N - 0,05) \quad (5.2)$$

$$Ni_{eZM} = 10,5 + 0,5 * 2,0 + 30 * 0,07 + 30 * (0,11 - 0,05) = 15,4$$

Chromový ekvivalent přídavného materiálu

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 * Si + 0,5 * Nb + 2 * Ti \quad (5.1)$$

$$Cr_{ePM} = 20,0 + 1,5 * 0,4 = 20,6$$

Niklový ekvivalent přídavného materiálu

$$Ni_e = Ni + 0,5 * Mn + 30 * C + 30 * (N - 0,05) \quad (5.2)$$

$$Ni_{ePM} = 10,0 + 0,5 * 1,8 + 30 * 0,03 = 11,8$$

Z chemického složení oceli se určil chromový a niklový ekvivalent základního i přídavného materiálu. Dle vypočtených hodnot se ocel 1.4301 nachází v oblasti horkých trhlin. Trhliny za tepla vznikají při tuhnutí a ochlazení tavné lázně, při teplotách 800-1200°C. Příčinou horkých trhlin je zejména chemické složení základního materiálu. K omezení šance vzniku horkých trhlin se bude svařovat nízkým proudem a napětím tak, aby vnesené teplo do svaru (Q_s) bylo co nejnižší, a zároveň, aby byla svarová lázeň co nejmenší.

6 EXPERIMENT

V experimentální části byl proveden a hodnocen svar na uvedené oceli o tloušťce 3mm.

6.1 Metoda a parametry svařování

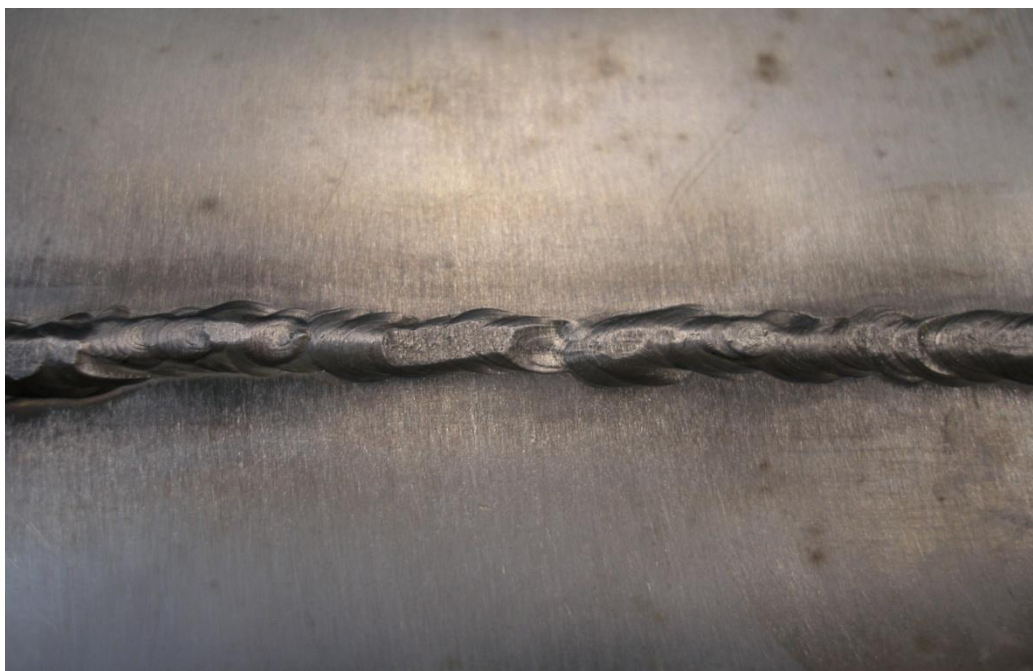
Vzhledem k malé tloušťce materiálu byl použit svar „I“. Svařování bylo provedeno ručním svařováním metodou TIG, navařovaly se dvě housenky nad sebou s následujícími parametry:

Metoda svařování	141
Druh svaru	„I“ – vícevrstvý
Poloha svařování	PC
Základní materiál	1.4301
Tloušťka materiálu	3 mm
Průměr přídavného drátu	2,4 mm
Svařovací proud pro první housenku	60-70 A
Svařovací proud pro druhou housenku	70-88 A
Svařovací napětí pro první housenku	14-16 V
Svařovací napětí pro druhou housenku	16-18 V
Druh napětí	DC (-)
Ochranný plyn	Argon (čistota 99.999%)
Průtokové množství plynu	8-10 l/min
Wolframová elektroda	WTh 20; ø2,4mm

6.2 Hodnocení svarů

Svary byly podrobeny vizuální kontrole jak z kořenové (obr. 15), tak i lícové strany (obr. 16).

Svar je v celé délce propadlý, což je patrné zejména na obr. 16i na makrostruktuře svaru v příčném řezu (obr. 17). Na pohledu z kořenové strany (obr. 15) jsou zřetelné stopy po broušení největších krápníků.



Obr. 15 Protečený kořen svaru. (Zvětšení 4x)



Obr. 16 Lícová strana svaru

6.3 Metalografické hodnocení

Ze svaru byly metalografickou pilou vyjmuty vzorky pro hodnocení makro a mikrostruktury příčného řezu svarem. Vzorky byly zality zastudena a broušeny na metalografických papírech. Po následném leštění byla leptáním vyvolána a fotograficky dokumentována struktura.

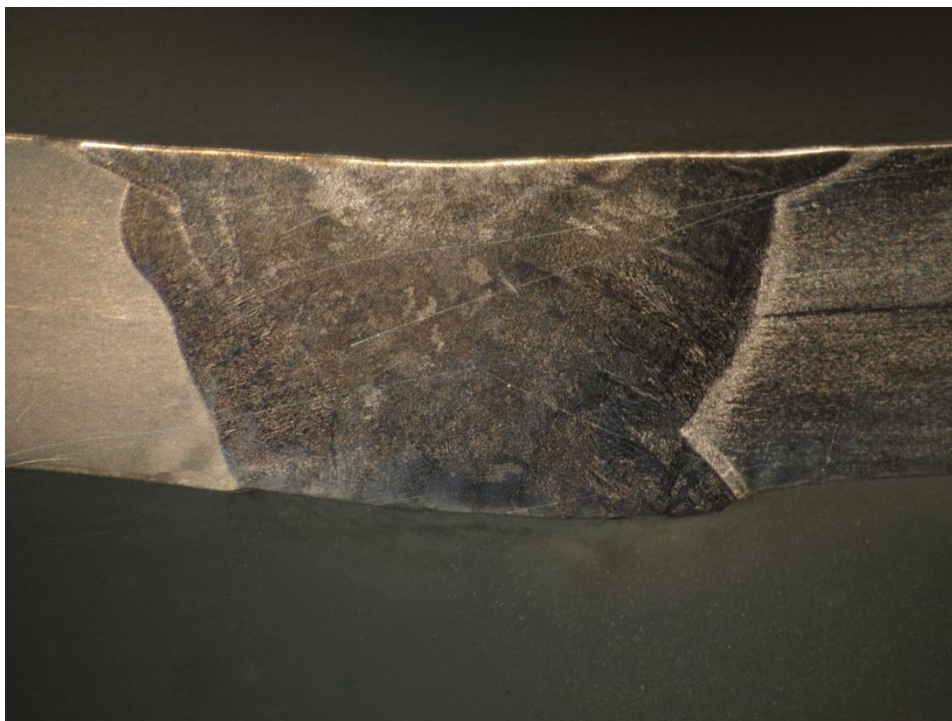
- **Makrostruktura**

Obrázek 17 ukazuje makrostrukturu svarového spoje. Jak již bylo uvedeno, je zde zřetelné propadení svaru. Jiné vady, jako jsou např. neprůvary nebo zápaly, případně horké trhliny, nejsou patrné. Velmi úzká tepelně ovlivněná oblast odpovídá malé tepelné vodivosti základního materiálu, což přímo souvisí s propadem svaru.

Propadnutí svaru je způsobeno vyšším specifickým vneseným teplem a tím i objemnější lázní tekutého kovu. K eliminaci této vady by vedlo zvýšení postupné rychlosti svařování nebo úměrné snížení svařovacího proudu.

- **Mikrostruktura**

Na obrázku 18 je zřetelný přechod ze strany základního materiálu přes úzkou tepelně ovlivněnou oblast do svarového kovu při menším (přibližně čtyřicetinásobném) zvětšení. Nejsou zde patrné žádné strukturní ani jiné vady. To dokazují také podrobnější snímky mikrostruktur základního materiálu (obr. 19), tepelně ovlivněné oblasti (obr. 20) i svarového kovu (obr. 21). Ve všech případech jde o čistě austenitickou strukturu bez defektů a vad.



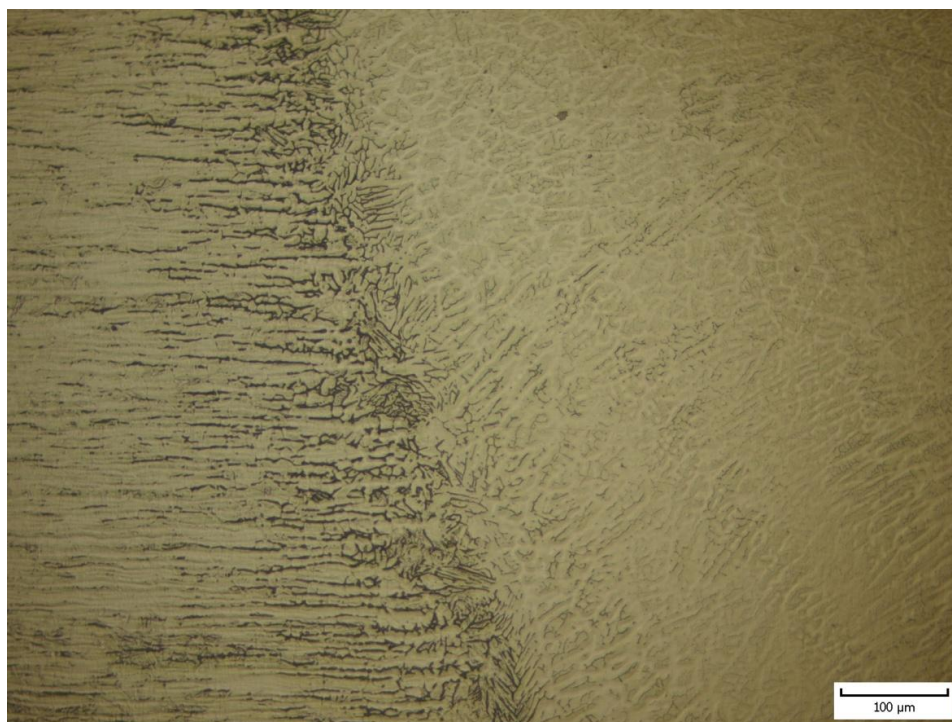
Obr. 17 Makrostruktura svaru (zvětšeno 20x)



Obr. 18 Přechod základní materiál – tepelně ovlivněná oblast – svarový kov



Obr. 19 Základní materiál – výchozí stav



Obr. 20 Přechod ZM – TOO - SK



Obr. 21 Mikrostruktura svarového kovu

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá svařováním tlakových nádob. Stručně je zde uvedena otázka legislativy, vybavení a kontroly netopených tlakových nádob pro potravinářské účely. Uvádí vhodné svařovací metody, způsoby hodnocení svarových spojů a svařitelností austenitických nerezavějících ocelí, zejména jejich náchylností na vznik horkých trhlin. Dále byl zpracován návrh svařování nádoby včetně Vypracování WPQR, výběru základního a přídatného materiálu a jejich posouzení z hlediska svařitelnosti. Na základě provedené vizuální kontroly a metalografického hodnocení makro a mikrostruktury byla doporučena změna svařovacích parametrů. S ohledem na propadlý svar je nutné buď **snížit svařovací proud, nebo zvýšit postupnou rychlost svařování.**

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000, 460 s. ISBN 80-887-8036-5.
2. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009, 486 s. ISBN 978-80-227-3167-6.
3. Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. In: *Wikipedia.org* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_netav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C5%99e_inertn%C3%ADho_plynu
4. *Konstruktúra a navrhovanie: III. diel učebných textov pre kurzy zvaračských technológov*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 432 s. Sváření. ISBN 80-857-7186-1.
5. ULRICH, K. a R. KOLEŇÁK. *Konstruktúra a navrhovanie svarkov*. Bratislava: STU, 2005. ISBN 80-227-2211-1.
6. *Požadavky na technická i technologická zařízení a konstrukce výrobků i jejich konstrukční materiály*. Brno: Tesydo, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-87102-10-7.
7. Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. In: *Wikipedia.org* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C5%99e_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou
8. MIG/MAG (CO₂). In: *Automig.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/?tx_jkpoll_pi1%5Bgo%5D=savevote&tx_jkpoll_pi1%5Buid%5D=2
9. Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů. In: KOLAŘÍK, Ladislav. *Cvut.cz* [online]. 2011 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/zkousky_svaru_ndt.pdf
10. Svařování pod tavidlem. In: *Wikipedia.org* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_pod_tavidlem
11. Svařování pod tavidlem. In: *Siad.com* [online]. 2010 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.siad.com/repceca/pagina.asp?m=5&id=193>
12. Svařování pod tavidlem. In: *Esab.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/processes-saw.cfm>
13. Princip svařování metodou TIG. In: *Svarshop.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.svarshop.cz/princip-svarovani-metodou-tig>
14. Obloukové technologie v ochranných atmosférách: MIG/MAG, WIG. In: *Http://www.ksp.tul.cz/* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11_p_rezetace.pdf
15. Legislativa tlakových nádob. In: *Www.filco.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.filco.cz/knihovna/legislativa-tlakovych-nadob/>

16. Nedestruktivní zkoušení – Zásady vizuální kontroly svarů a výrobků. In: *Tlakinfo.cz* [online]. 2011 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1240>
17. *SVAŘOVÁNÍ NEREZOVÝCH OCELÍ*. Cheb, 2008. Dostupné z: <http://iss-cheb.cz/projekt/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD%20nerezov%C3%BDch%20ocel%C3%AD%20-%20MIG.pdf>. Učební text. ISS Cheb.
18. Hodnocení kvality svarového spoje: Studijní text. In: *Cvut.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf
19. Stainless Steel 1.4301. In: *Aalco.com* [online]. 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-Bar_34.ashx
20. Ruční obloukové svařování. In: *Wikipedia.org* [online]. 2010 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ru%C4%8Dn%C3%AD_obloukov%C3%A9_sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD
21. Ebia.cz. *BAZÉNY Z NEREZOVÉ OCELI* [online]. 2013 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.ebia.cz/>
22. Submerget arch welding (SAW). In: *Westernmans.com/blog* [online]. 2012 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.westernmans.com/blog/submerged-arc-welding-in-a-nutshell/>
23. CUNAT, Pierre-Jean. *Svařování korozivzdorných ocelí: Materiály a jejich použití* [online]. 2007 [cit. 2014-05-25]. ISBN 978-2-87997-177-3. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/BrochureWeldability_CZ.pdf
24. Výběr svařovacích materiálů. In: *Esab.com* [online]. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/Vyber2014.pdf>
25. ČSN EN 13445-3. *Netopené tlakové nádoby: Část 3: Konstrukce a výpočet*. Praha: Halouzka, 2010.
26. AMBROŽ, Oldřich. *SVAŘITELNOST MATERIÁLU* [online]. Brno, 2007 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/svaritelnost_materialu_ambroz.pdf. Studijní materiál. VUT Brno.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	- Varna na pivo [21].....	9
Obr. 2	- Nerezový bazén [21].....	9
Obr. 3	Schéma použitých předepsaných přírub a závitů netopné tlakové nádoby [15] 10	
Obr. 4	-Svařování obalenou elektrodou [20]	13
Obr. 5	Schéma svařování obalenou elektrodou [23].....	13
Obr. 6	Schéma svařování v ochranné atmosféře [23]	14
Obr. 7	- Princip svařování metodou WIG [23]	16
Obr. 8	– Vliv tvaru hrotu wolframové elektrody na tvar a velikost závaru [14].....	16
Obr. 9	- Princip svařování pod tavidlem [23]	17
Obr. 10	- Svařování válcového pláště nádoby metodou pod tavidlem[22]	17
Obr. 11	Vzorky pro tahovou zkoušku [9].....	18
Obr. 12	Příklad měrky pro vizuální kontrolu svarů [16]	19
Obr. 13	Průběh kapilární zkoušky [9]	19
Obr. 14	Shaefflerův diagram [26]	24
Obr. 15	Protečený kořen svaru. (Zvětšení 4x).....	26
Obr. 16	Lícová strana svaru.....	26
Obr. 17	Makrostruktura svaru (zvětšeno 20x).....	27
Obr. 18	Přechod základní materiál – tepelně ovlivněná oblast – svarový kov.....	28
Obr. 19	Základní materiál – výchozí stav	28
Obr. 20	Přechod ZM – TOO - SK	29
Obr. 21	Mikrostruktura svarového kovu	29

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 -	Chemické složení nerez. oceli 1.4301 [19].....	12
Tabulka 2 -	Fyzikální a mechanické vlastnosti nerez. oceli 1.4301 [19]	12
Tabulka 3 -	Typické chemické složení drátu [24].....	23
Tabulka 4 -	Typické mechanické hodnoty svarového kovu [24]	23

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
A	%	Tažnost
α	K ⁻¹	Teplotní roztažnost
CKT	[-]	Cylindrokónický tank
CMT	[-]	Cold metal transfer
GMAW	[-]	Gas metal arc welding
GTAW	[-]	Gas tungsten arc welding
KV	J	Nárazová práce
λ	W/mK	Tepelná vodivost
PM	[-]	Přídavný materiál
PWPS	[-]	Předběžný postup svařování
R_e	MPa	Mez kluzu
R_m	MPa	Mez pevnosti
R_{p0,2}	MPa	Smluvní mez kluzu
ρ	g/cm ³	Hustota
SAW	[-]	Submerged arc welding
SMAW	[-]	Shielded metal arc welding
T_m	°C	Teplota tavení
TOO	[-]	Tepelně ovlivněná oblast
WPS	[-]	Specifikace postupu svařování
WPQR	[-]	Kvalifikace postupu svařování
Z	%	Kontrakce
ZM	[-]	Základní materiál

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres Svařence CK-tanku 2000l

Příloha 2 WPS svaru

