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 Martin MÁCA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc
SUPERVISOR

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.

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.

Key words

welding, pressure tank, cylindrical-conical vessel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁCA, 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
ÚVOD 8
1 Společnost EBIA CZ [21] 9
2 Metody svařování 10
2.1 Svařování obalenou elektrodou [2, 20] 10
2.2 Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou [1, 7, 8] 11
2.3 Svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou [3, 13 , 23] 12
2.4 Svařování automatem pod tavidlem [10, 11, 12] 14
3 Kontrola svarových spojů 16
3.1 Destruktivní zkoušky svarů [4 ,9 ,18] 16
3.2 Nedestruktivní zkoušky svarů [5, 9, 16] 16
4 Legislativa tlakových nádob [6, 15] 18
5 Materiál pro tlakové nádoby [17, 19] 20
6 Vlastní návrh svařování tlakové nádoby 21
6.1 Výběr přídavného svařovacího materiálu [24] 21
6.2 Konstrukční požadavky na svary zatěžované tlakem [25] 22
ZÁVĚR 24
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 25
Seznam obrázků 27
Seznam tabulek 27
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 28
SEZNAM PŘÍLOH 29

ÚVOD

Svařování je velmi progresivní obor. S rozvojem nových technologií a materiálů je v dnešní době možno svařovat rychleji a efektivněji. Svařování vysoko legovaných austenitických ocelí je dnes již běžná praxe. Jejich užití je díky jejich vlastnostem velmi versatilní. 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 tenkostěnných plechů je obecně velmi obtížné a v případě nerezové oceli je o to náročnější. Velké nároky jsou kladeny na vhodné zvolení a provedení svaru. Svary jsou důkladně kontrolovány, ve většině případů i několika metodami zároveň, aby se předešlo případnému selhání po dobu životnosti nádoby.

1 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]

2 METODY SVAŘOVÁNÍ

Při svařování je důležité volit vhodnou metodu svařování a přídavný svařovací materiál, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností výrobku. V úvahu se bere zejména tažnost a pevnost materiálu, protože při svařování vzniká značné pnutí a to zejména v tepelně ovlivněné oblasti.

2.1 Svařování obalenou elektrodou [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 universálnosti svého využití na různé materiály a v téměř jakékoli pozici je hojně využívaná 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.

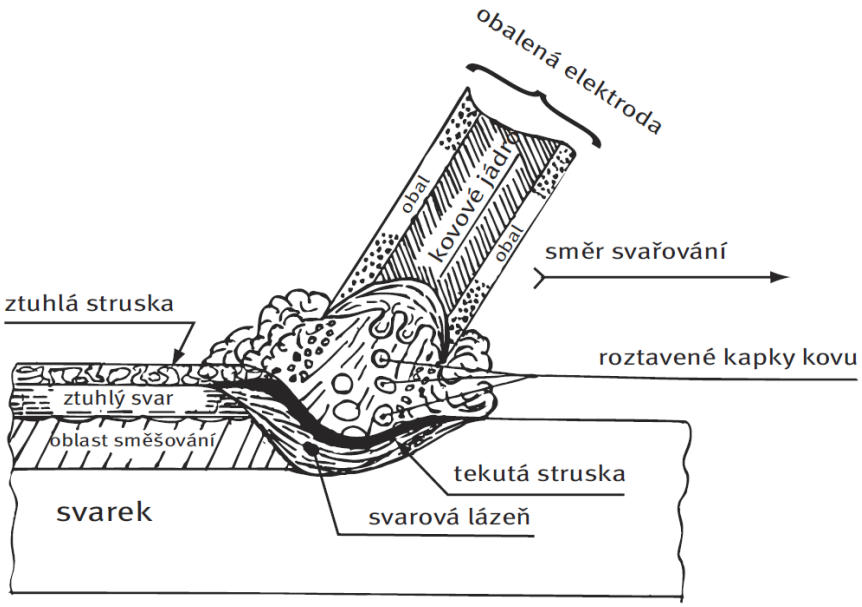
Obr. 3 -Svařování obalenou elektrodou [20]

2.1.1 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

2.1.2 Hlavní nevýhody svařování obalenou elektrodou:

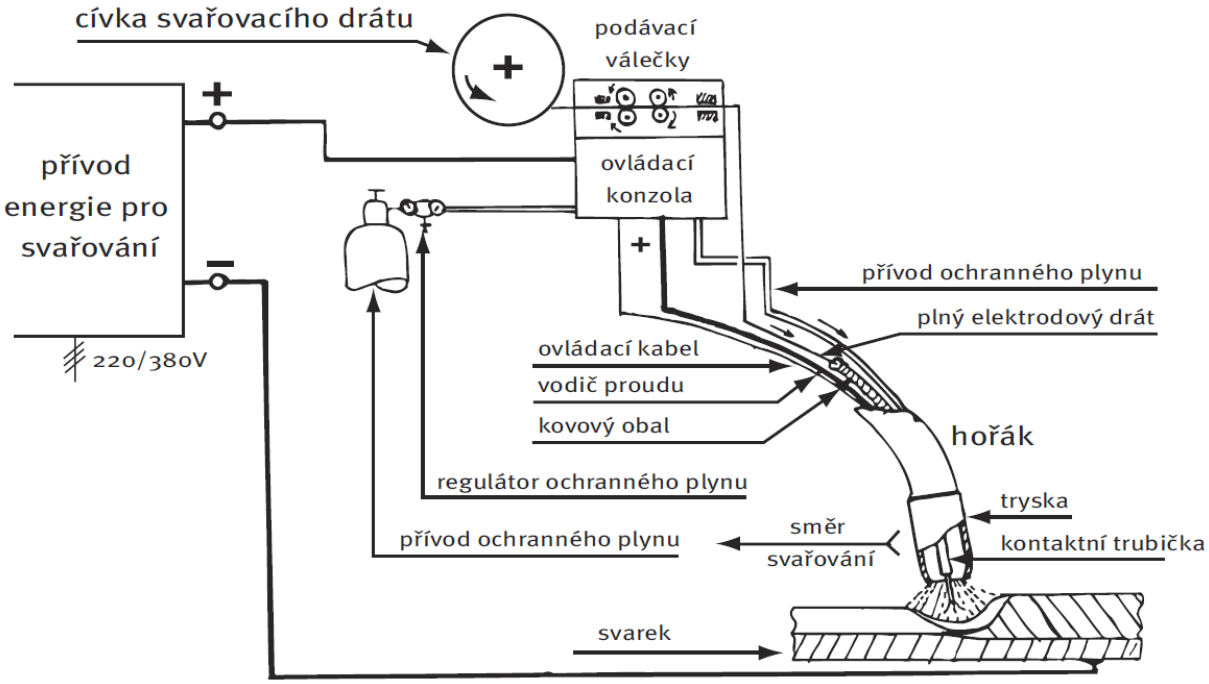
- Na povrchu svaru vzniká struska, kterou je nutno pečlivě odstranit před aplikací další vrstvy kovu
- Elektrody mohou lehce navlhnout a nebudou správně hořet
- Nelze svařovat tenkostěnné materiály
- V porovnání s ostatními metodami svařování je pomalá



Obr. 4 Schéma svařování obalenou elektrodou [23]

2.2 Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou [1, 7, 8]

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 podílet na metalurgii svaru (např. CO2), půjde o metodu označovanou jako MAG (Metal Aktiv Gas).



Obr. 5 Schema svařování v ochranné atmosféře [23]

2.2.1 Hlavní výhody svařování MIG/MAG

- Dosahuje se vysokých rychlostí svařování
- Svařování je nenáročné, proto se často automatizuje
- Strojové svařování dosahuje
- Vyšší kvalita svarového kovu
- 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

2.2.2 Hlavní nevýhody svařování MIG/MAG

- Vysoká pořizovací cena svařovacího aparátu
- Nízká mobilita celého zařízení

2.3 Svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou [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.

2.3.1 Hlavní výhody WIG (TIG):

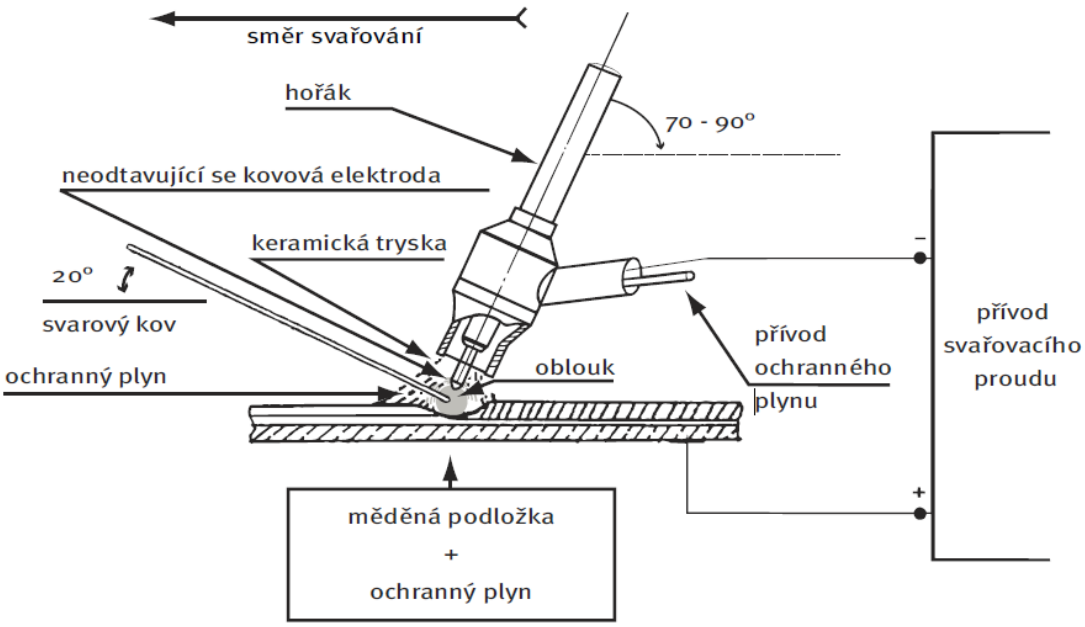
- Velmi dobrá kvalita svaru v porovnání se svařováním s tavnou elektrodou
- Svařovat lze i bez použití přídavného materiálu
- Metoda je vhodná pro svařování tenkých plechů
- Velmi dobrá regulace vneseného tepla do svarového kovu

2.3.2 Hlavní nevýhody WIG (TIG):

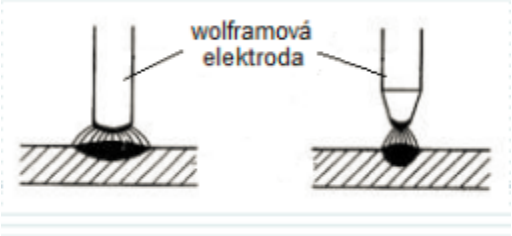
- Hlavní nevýhodou je nízká produktivita, a to i při automatizaci
- Zařízení pro WIG svařování jsou komplikovanější a dražší než svářečky pro jiné metody svařování

- 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 používané 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. 6 - Princip svařování metodou WIG [23]



Obr. 7 – Tvar hrotu wolframové elektrody [14]

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

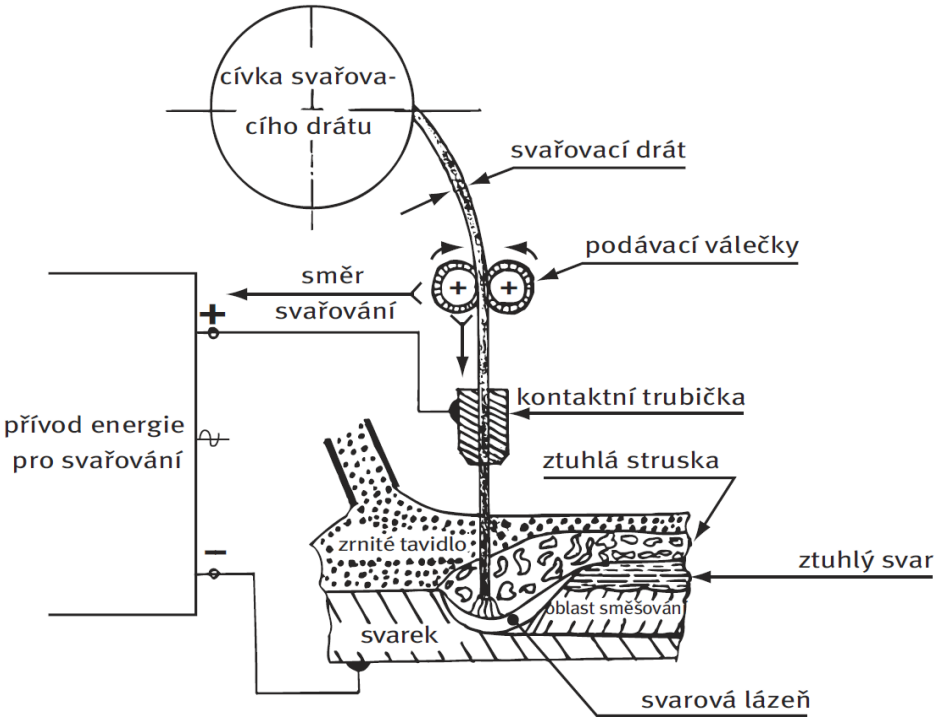
Svařování pod tavidlem je automatizovaná metoda svařování. Většinou se užívá ke svařování dlouhých nepřerušovaných svarů na ocelových svařencích, nebo ke svařování ocelových trubek. Jde o velice výkonnou metodu s omezeným použitím, lze svařovat pouze v poloze shora. Jako přídavný materiál může být použit 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.

2.4.1 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 pně automatické systémy
- Vhodná pro svařování dlouhých svarů (např. mostní konstrukce) a rotačních součástí (např. válcové nádoby)
- Při svařování nedochází k rozstřiku svarového kovu

2.4.2 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. 8 - 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 vracen zpět do násypky. Pro svařování pod tavidlem jsou typicky používané 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. 9).

Obr. 9 - Svařování válcového pláště nádoby metodou pod tavidlem[22]

3 KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ

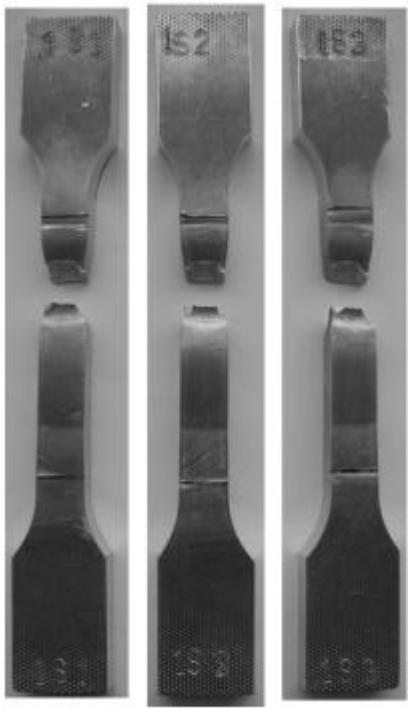
3.1 Destruktivní zkoušky svarů [4 ,9 ,18]

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.

3.1.1 Příčná zkouška tahem

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

Mez kluzu (R_e), mez pevnosti ($R_{m)}$, tažnost (A), kontrakce (Z)



Obr. 10 Vzorky pro tahovou zkoušku [9]

3.1.2 Zkouška rázem v ohybu

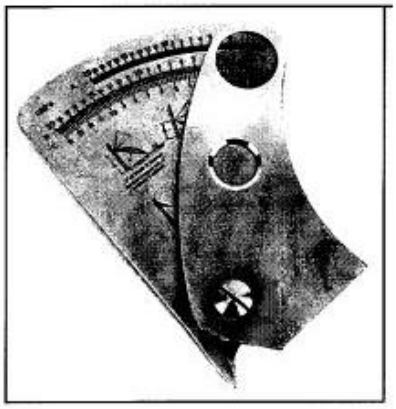
Zkouška spočívá v přeražení zkušební tyče jedním rázem kyvadlového (Charpyho) kladiva. Zkušební tyč má uprostřed normalizovaný vrub

3.2 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.

3.2.1 Vizuální kontrola

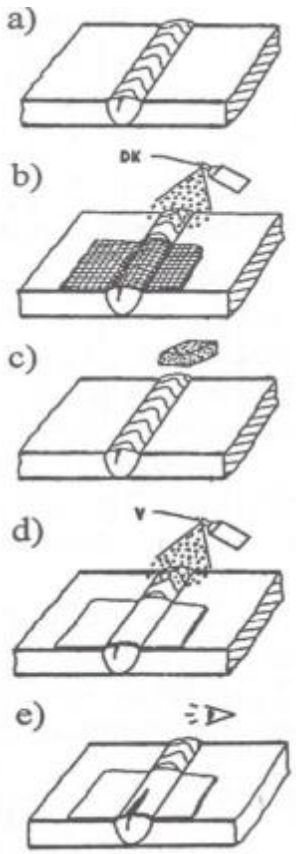
Provádí se vždy ve 100% rozsahu. Jde o metodu zjišťování zjevných povrchových defektů. Kontrola prohlídkou musí být provedena po dostatečném očištění svaru a zároveň před dalšími technologickými operacemi (např. nátěry). Vizuální kontrola může být doplněna o kontrolu vnějších rozměrů svaru. Při vizuální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



Obr. 11 Příklad měrky pro vizuální kontrolu svarů [16]

3.2.2 Kapilární (penetrační) zkouška

Tato metoda opět zjišťuje pouze vady povrchové, které bezprostředně souvisejí s povrchem (musí být na povrchu otevřeny, aby do nich natekla detekční kapalina). Před započetím zkoušky musí být povrch svaru řádně očištěn, odmaštěn a osušen (obr. a). Poté se nanese penetrant, který se nechá min. 15 minut působit (obr. b). Penetrant se poté důkladně setře (obr. c) a nanese se vývojka (obr. d). Vývojka reaguje s penetrantem, zateklým v trhlinách na povrchu materiálu, a označuje místo trhliny (obr. e). Vývojka se může nanášet natíráním, nástřikem, nebo i naprašováním (vývojka ve formě prášku).



Obr. 12 Průběh kapilární zkoušky [9]

3.2.3 Magnetická prášková zkouška

V praxi ne tak často užívaná metoda, lze ji použít pouze pro feromagnetické (magnetické) oceli. Dokáže odhalit povrchové nebo těsně podpovrchové vady, tedy vady s povrchem ne přímo spojené. Nejsou u ní kladeny vysoké nároky na přípravu zkoušeného povrchu a jeho čistotu.

3.2.4 Zkouška ultrazvukem

Je založena na vlastnostech šíření akustické vlny. Při průchodu základním materiálem (homogenním prostředím) se vlna chová nějak, pokud po cestě narazí na vadu v materiálu (heterogenní prostředí), dojde k odrazu, nebo částečnému pohlcení vlny. Tyto změny se poté registrují a zobrazují na obrazovce zařízení.

3.2.5 Zkouška rentgenovým zářením

Jde o nejstarší metodu nedestruktivního zkoušení materiálu, jejíž princip spočívá v pohlcování ionizačního záření (pronikavé elektromagnetické záření) v kontrolované součásti. V místech porušení a vad materiálu bude pohlceno více 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. Vady, které záření pohlcují, se poté budou jevit jako tmavší 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 LEGISLATIVA TLAKOVÝCH NÁDOB [6, 15]

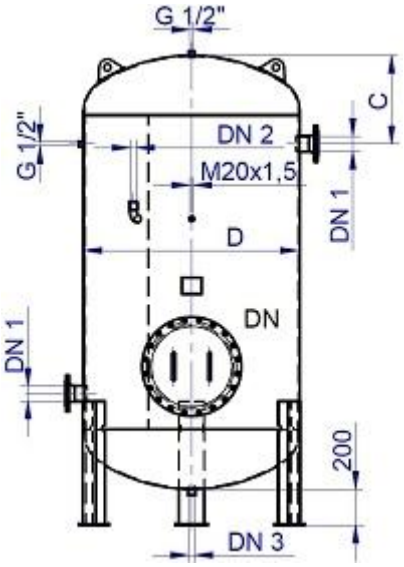
Tlakové stabilní netopné nádoby (dle ČSN 690012)

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).

Povinná výbava tlakových nádob

Dle vyhlášky Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu č. 18/1976 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



Obr. 13 Schéma použitých předepsaných přírub a závitů netopné tlakové nádoby [15]

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.

4.1.1 Dokumentace

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

4.1.2 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.

4.1.3 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%.

4.1.4 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.

4.1.5 Kontrola tlakoměrů a pojistných ventilů

Tlakoměr se kontroluje jednou za tři měsíce vynulováním za pomoci trojcestného ventilu (obr. 12) 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.

4.1.6 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

5 MATERIÁL PRO TLAKOVÉ NÁDOBY [17, 19]

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

Chemický prvek	procentuální složení
Uhlík (C)	0- 0,07
Chrom (Cr)	17,5- 19,5
Mangan (Mn)	0- 2,00
Křemík (Si)	0- 1,00
Fosfor (P)	0- 0,05
Síra (S)	0- 0,02
Nikl (Ni)	8,00- 10,50
Dusík (N)	0- 0,11

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

Hustota ρ	Teplota tavení	Teplotní roztažnost	Tepelná vodivost	Mez kluzu R_e	Pevnost v tahu R_m	Tažnost A
8,00g/cm^2	1450ºC	17,2e-6/K	16,2W/mK	230MPa	520-720MPa	45%

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

6 VLASTNÍ NÁVRH SVAŘOVÁNÍ TLAKOVÉ NÁDOBY

6.1 Výběr přídavného svařovacího materiálu [24]

Jako přídavný 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-krystalové 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.

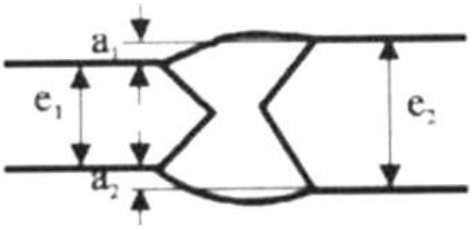
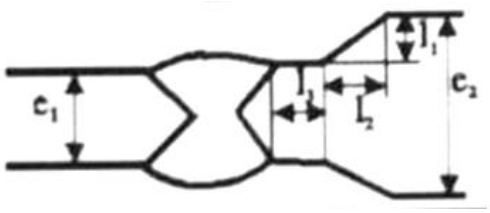
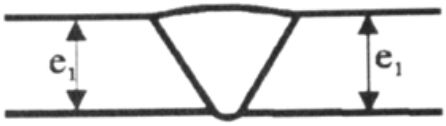
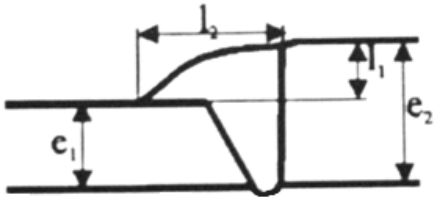
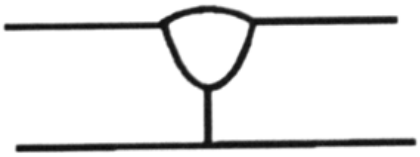
C	Si	Mn	Cr	Ni
<0.03%	0.40%	1.80%	20.0%	10.0%

Tabulka 3 - Typické chemické složení drátu [24]

R_m	$R_{p0,2}$	A	KV (+20; -80)
600-645 MPa	320-450 MPa	36-45%	170-200J; 135J

Tabulka 4 - Typické mechanické hodnoty svarového kovu [24]

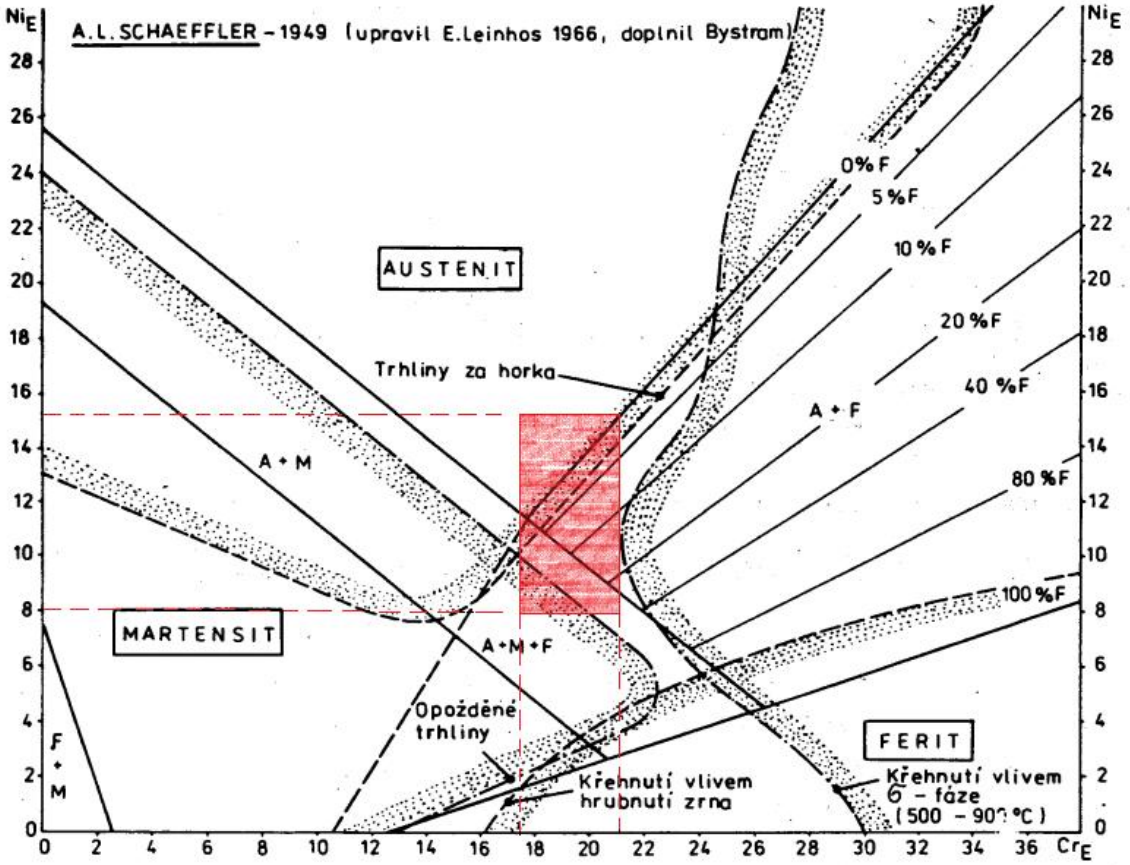
6.2 Konstrukční požadavky na svary zatěžované tlakem [25]

Typ spoje	Konstrukční požadavky	Citlivost na vznik lamelárních trhlin[1]	Koroze[2]
		A	N
	e_2-$e_1 \leq \min[0{,}3e_1 ; 6]$	A	N
	$l_3 \geq 2e_1$ $l_1 / l_2 \leq ¼$	A	N
	Pro únavu dovoleno pouze tehdy, když může být alespoň vizuální kontrolou prokázáno plné provaření	A	N
	Nedovoleno	[-]	[-]
	Nedovoleno	[-]	[-]

Tabulka 5 - Podélné svary na válcových a kuželových skořepinách [25]

1) citlivost na vznik lamelárních trhlin: A=bez rizika; B=možné riziko

2) Koroze: N=normální podmínky; S=nepřípustné



Obr. 14 Shaefflerův diagram [26]

Chromový ekvivalent

$Cr_e = Cr + Mo + 1.5xSi + 0.5Nb + 2Ti$
$Cr_{e-max} = 19.5 + 0 + 1.5x1 + 0.5x0 + 2x0 = 21$
$Cr_{e-min} = 17.5 + 0 + 1.5x0 + 0.5x0 + 2x0 = 17.5$

$Ni_e = Ni + 0.5xMn + 30xC + 30(N - 0.05)$
$Ni_{e-max} = 10.5 + 0.5x2 + 30x0.07 + 30(0.11 - 0.05)$=15.4
$Ni_{e-min} = 8 + 0.5x0 + 30x0 + 30(0 - 0.05)$=8

Z chemického složení oceli se určil chromový a niklový ekvivalent. Dle vypočtených hodnot se ocel 1.4301 nachází v oblasti horkých trhlin. Trhliny za tepla vznikají při tuhnutí a ochlazování tavné lázně, při teplotách 800-1200ºC. 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.

ZÁVĚR

Pro návrh metody svařování byl zvolen svar č.1 (v přiložené výkresové dokumentaci). Jde o podélný svar vnitřního pláště tlakové nádoby. Svařován bude netavnou wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře (WIG), tvořené inertním plynem argonem. Z možných variant nejlépe odpovídá oboustranný převýšený V-svar (tzv. X-svar), jelikož je tloušťka svařovaných materiálů shodná. Vzhledem k tloušťce materiálu (t=3mm), bude výška svaru a=6mm. Po dokončení bude svar vizuálně kontrolován v celé jeho délce. Dále bude v rozsahu 10% kontrolován prozářením (rentgenová zkouška, viz přiložený výkres) a stejně tak bude provedena kapilární zkouška. Z legislativního hlediska byl vyhotoven WPQR svaru. Při svařování metodou WIG velmi záleží kvalita výsledného díla na zručnosti a zkušenostech svářeče, tudíž tato metoda není nejvhodnější. Rychleji, ale také s konstantní kvalitou by byl svár vyhotoven za pomoci automatizace. Ať už svařovací metodou pod tavidlem (SAW), která je pro automatizaci vhodnější, nebo již navržené metody TIG. Jelikož ale v dílně firmy Ebia nejsou tyto metody k dispozici, byl zvolen již popsaný postup 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%A9%C5%99e_inertn%C3%ADho_plynu
4. *Konštrukcia a navrhovanie: III. diel učebných textov pre kurzy zváračských technológov*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 432 s. Sváření. ISBN 80-857-7186-1.
5. ULRICH, K. a R. KOLEŇÁK. *Konštrukcia 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%A9%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 spoj ů. 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_prezetace.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. ISŠ 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.westermans.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 -Svařování obalenou elektrodou [20] 10
Obr. 4 Schéma svařování obalenou elektrodou [23] 11
Obr. 5 Schema svařování v ochranné atmosféře [23] 11
Obr. 6 - Princip svařování metodou WIG [23] 13
Obr. 7 – Tvar hrotu wolframové elektrody [14] 13
Obr. 8 - Princip svařování pod tavidlem [23] 15
Obr. 9 - Svařování válcového pláště nádoby metodou pod tavidlem[22] 15
Obr. 10 Vzorky pro tahovou zkoušku [9] 16
Obr. 11 Příklad měrky pro vizuální kontrolu svarů [16] 17
Obr. 12 Průběh kapilární zkoušky [9] 17
Obr. 13 Schéma použitých předepsaných přírub a závitů netopné tlakové nádoby [15] 18
Obr. 14 Shaefflerův diagram [26] 23

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Chemické složení nerez. oceli 1.4301 [19] 20
Tabulka 2 - Fyzikální a mechanické vlastnosti nerez. oceli 1.4301 [19] 20
Tabulka 3 - Typické chemické složení drátu [24] 21
Tabulka 4 - Typické mechanické hodnoty svarového kovu [24] 21
Tabulka 5 - Podélné svary na válcových a kuželových skořepinách [25] 22

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
A	%	Tažnost
CKT	[-]	Cylindrokónický tank
CMT		Cold metal transfer
GMAW	[-]	Gas metal arc welding
GTAW	[-]	Gas tungsten arc welding
$\mathbf{R_e}$	MPa	Mez kluzu
$\mathbf{R_m}$	MPa	Mez pevnosti
$\mathbf{R_{p0,2}}$	MPa	Smluvní mez kluzu
SAW	[-]	Submerged arc welding
SMAW	[-]	Shielded metal arc welding
Z	%	Kontrakce

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres CK750

Příloha 2 WPQR svaru