

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Svařování ocelových konstrukcí pod vodou

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor: Viktor Hadač

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Praha 2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Viktor Hadač

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Název práce: Svařování ocelových konstrukcí pod vodou

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

Cíl práce:

- shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách svařování ocelových konstrukcí pod vodou.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Podstata, výhody, nevýhody a použitelnost technologie svařování v praxi.
3. Možnosti a metody svařování ocelových konstrukcí pod vodou.
4. Závěr.

Metodika práce:

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

Rozsah práce: 30 stran textu včetně obrázků, grafu a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

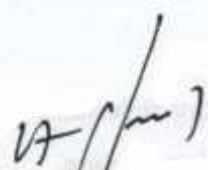
- BEVERIDGE, H. J. R. *Underwater welding for offshore installations*. Cambridge: Welding Institut, 1977.
- BEVERIDGE, H. J. R. *Podvodnaja svarka morskich sooruienij*. Leningrad: Sudostrojenije, 1983.
- BERNASOVÁ, E. aj. *Svařování*. Praha: SNTL, 1987.
- DAVIES, A. C. *The Science and Practice of Welding*. Cambridge: University Press, 1993.
- MINAŘÍK, V. *Obloukové svařování 2. aktualiz. vyd.* Praha: SCIENTIA, 2003.
- STEDFELD, R. L. *Metals Handbook Vol 6. Welding, brazing, and soldering*. 9. ed. Metals Park. Oh.: American Society for Metals, 1983.
- WEMAN, K. *Welding Processes Handbook*. Cambridge: Woodhead, 2003.
- Underwater Welding. TWI Knowledge Summary* [on-line] [01. 12. 2008]. Dostupné: <http://www.twi.co.uk/content/ksdia001.html> U. S. Navy *Underwater Cutting and Welding Manual* [on-line] [01. 12. 2008]. Dostupné: http://www.supsalv.onz/pdf/cut_weld.pdf
- časopisy: Konstrukce (Ocelové konstrukce), MM Průmyslové spektrum. SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojárstvo / Strojírenství, Svět svaru. Technický týdeník. Technik, Zváranie / Svařování, firemní literatura: katalogy, prospekty

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2010


prof. Ing. Milan Brožek, CSc.
.....
vedoucí katedry


prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.
.....
děkan

V Praze dne 1. 12. 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Milana Brožka, CSc. a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

Datum.....

Podpis.....

Vyslovuji tímto své upřímné poděkování všem, kteří mi vytvořili podmínky pro realizaci této práce, zejména děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Milanu Brožkovi, CSc., za odborné vedení a všestrannou pomoc při vypracování bakalářské práce.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je popis metody svařování ocelových konstrukcí v aplikaci pod vodou. Kapitola „Podstata svařování“ charakterizuje způsob vzniku svarového spoje, výhody a nevýhody použití svařování v praxi a rozdělení svařování. Dále se tato kapitola zabývá několika způsoby zhotovení svarových spojů, které se používají pro svařování pod vodou. Kapitola „Svařování pod vodou“ obsahuje dvě podkapitoly, které popisují základní způsoby tvorby svarového spoje pod vodou. Kapitola dále obsahuje výčet základního vybavení pro svařování pod vodou, bezpečnostní rizika a rozdíly mezi svařováním na povrchu a pod vodou. Mimo klasických způsobů podvodního svařování se kapitola zabývá i novými trendy z této oblasti.

Klíčová slova: svařování, potápěč, voda

Summary: This bachelor thesis deals with a description of the welding of the steel construction under the water.

The chapter called „Principle of the welding“ defines a process of an origin of a welding joint, the advantages and disadvantages in using welding in a work experience and a dividing of welding. Then this chapter describes few methods of making the welding joints, which are used for the welding under the water.

Next chapter „Welding under the water“ contains two subgroups, which introduce the basic methods of creation of a welding joint under the water. This part of my thesis includes a list of the basic equipment for the welding under the water, security risks and the differences between the welding aground, or the welding under the water. Along the classic methods of the water welding are also presented the new tendencies in this field.

Key words: welding, diver, water

Obsah

1	Úvod	1
2	Podstata svařování	2
2.1	Uplatnění svařování v praxi	2
2.2	Výhody a nevýhody svařování.....	3
2.3	Rozdělení svařování.....	5
2.4	Elektrický oblouk.....	7
2.5	Ruční svařování obalenou elektrodou.....	8
2.6	Obloukové svařování plněnou elektrodou	9
2.7	Obloukové svařování tavícími se elektrodami v ochranné atmosféře plynů	10
2.8	Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře plynů.....	11
2.9	Třecí svařování.....	11
3	Svařování pod vodou	12
3.1	Příprava pro proces svařování pod vodou.....	13
3.2	Svařování za mokra (wet welding)	13
3.2.1	Metody mokrého svařování	13
3.2.2	Vznik elektrického oblouku pod vodou	14
3.2.3	Techniky svařování.....	16
3.2.4	Elektrické vybavení	17
3.2.4.1	Svařovací zdroje.....	18
3.2.4.2	Svařovací kabely	19
3.2.4.3	Zemnicí svěrky.....	20
3.2.4.4	Bezpečnostní vypínače.....	20
3.2.5	Osobní vybavení a drobné nářadí	21
3.2.6	Výhody a nevýhody mokrého svařování	23
3.2.7	Bezpečnostní rizika.....	24
3.2.8	Současný stav a pokrok ve kvalitě	25
3.3.1	Přehradové svařování.....	26
3.3.2	Hydroweld svařování	27
3.3.3	Hyperbarické svařování	28
3.3.4	Výhody a nevýhody suchého svařování	29
4	Závěr	31

1 Úvod

Svařování patří mezi nejrozšířenější způsoby nerozebíratelného spojování součástí a doplňuje tak ostatní metody spojování materiálu jako jsou pájení, nýtování a lepení. Technologie svařování nachází uplatnění v širokém spektru průmyslové výroby, s výhodou se uplatňuje ve strojírenské výrobě, při stavbě lodí, silničních i železničních vozidel, při návrhu ocelových konstrukcí jako jsou jeřáby, mosty, haly a podobně.

Tato práce by měla čtenáře seznámit se základním rozdělením svařování, s principy zhotovení svarových spojů a výhodami i nevýhodami, které předurčují svařování pro použití v nejrůznějších oblastech.

Jak už název napovídá, většina informací, které tato práce obsahuje, jsou věnovány problematice svařování ocelových konstrukcí pod vodou a to zejména způsobu mokrého svařování. Pro většinu veřejnosti i některé skupiny lidí pohybujících se v oblasti svařování zůstává pojem svařování pod vodou spíše exotickou záležitostí, která nenachází praktické uplatnění. Ale opak je pravdou. Svařování v nehostinných podmínkách vodního prostředí je velice důležitou oblastí ve výrobě, ale zejména při opravách nejrůznějších konstrukcí nacházejících se pod vodní hladinou, ať už jde o trupy lodí, věže na těžbu ropy, potrubí nebo přehradu a jezy. Svařování pod vodou obchází nutnost vytahovat poškozené objekty nad vodní hladinu, což šetří obrovské finanční obnosy i spousty drahocenného času. V některých případech ani jiná alternativa ke svařování pod vodou neexistuje a tak se metody tohoto druhu svařování od jeho prvního nasazení nadále rozvíjejí a stále častěji uplatňují v praxi.

Zejména ve vnitrozemských státech, jako je Česká republika, chybí osvěta týkající se problematiky svařování pod vodou, i když se s výsledky svařování pod vodou každodenně setkávají desetitisíce lidí cestujících pražským metrem, na jehož výstavbu bylo aplikováno přes 200 metrů svarů zhotovených pod vodou. V České republice existuje asi deset lidí, kteří jsou schopni zhotovit kvalitní svary vytvořené pod vodou. V přímořských státech je ale tato aplikace svařování velmi žádaná, proto například ve Velké Británii existuje speciální školicí středisko, které připravuje svářeče - potápěče pro jejich budoucí povolání. Svařování pod vodou je řízeno mezinárodními normami, v ČR upravuje práci svářečů - potápěčů a operátorů norma ČSN EN ISO 15618.

Mimo několika článků, které vyšly v odborných časopisech neexistuje česky psaná literatura zabývající se tímto tématem.

2 Podstata svařování

Svařování je proces, který slouží k vytvoření trvalého nerozebíratelného spoje dvou a více materiálů. Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik meziatomových vazeb. Protože prakticky není možné dosáhnout spojení na úrovni meziatomových vazeb za okolních podmínek (běžná teplota, tlak), kdy je termodynamický stav materiálů stabilní resp. metastabilní, je nutné tento termodynamický stav změnit. Proto je při svařování nutné působit buď tlakem, teplem nebo oběma faktory najednou. Obecně platí závislost, čím vyšší působí tlak, tím méně je potřeba vnést teplo a obráceně.

Trvalé spojení může vzniknout s použitím nebo bez použití přídavného materiálu, stejného či podobného chemického složení jako spojované materiály. Přídavný materiál je při přechodu do svarové lázně taven, mísí se s roztaveným základním materiálem a po ztuhnutí vytváří svarový kov. Spojení nastane působením meziatomových sil na teplem nebo tlakem aktivovaných plochách, které jsou v oblasti svařování v roztaveném nebo plastickém stavu. [5] [4]

Pevné látky mohou mít různé typy vazby, které odpovídají různým typům rozložení iontů a elektronů. U různých vazeb jsou ionty v atomu uspořádány tak, aby potenciální energie krystalu byla co nejmenší. Kovové krystaly (např. Cu, Fe, Ag, Mo) vznikají v důsledku vazby, která je označována jako kovová. Základní představou je existence mraku valenčních elektronů, které mohou přecházet volně od atomu k atomu. Ke kovové vazbě dochází tehdy, když přitahování mezi kovovými ionty a elektronovým mrakem převýší vzájemné odpuzování elektronů v tomto mraku. Ionty jsou uspořádány podle přesně definovaného rozložení, podle něhož v pevných látkách existují mezi ionty síly přitažlivé a síly odpudivé. [5]

Cílem technologické operace svařování je vyrobit vyhovující spojení určitých částí povrchů dvou nebo více dílů, přičemž vzniklý spoj musí vykazovat vlastnosti, které jsou požadovány nebo vyhovují podmínkám jejich provozování. [4]

2.1 Uplatnění svařování v praxi

Svařování se uplatňuje zejména ve dvou oblastech. První oblast je výroba strojních dílů (svarků) a svařovaných konstrukcí, kdy navzájem připojené části tvoří buď polotovary

hutní výroby (plechy, tyče aj.) nebo v kombinaci s výrobky a odlitky. Druhou oblastí využití svařování je opravárenství.

Z hlediska účelu se svařování používá zejména ve dvou průmyslových oblastech. První z nich je strojírenství, kde svařované součásti nahrazují výkovky nebo odlitky (např. kardanové nebo vačkové hřídele). Další využití ve strojírenství zahrnuje svařování výlisků (např. dílů zemědělských strojů, řemenic, brzdových čelistí aj.) .

Druhou oblastí je stavebnictví, kde se svařování uplatňuje ke stavbě ocelových konstrukcí jako jsou mosty, dále pak svařování ocelových výztuží do betonu a nejrůznějších armatur. [4]

Pod pojmem svařování je nutno rozumět nejen svařování ve smyslu spojování dvou a více dílů do jednoho nerozebíratelného celku, ale i navařování vrstev materiálu na povrch základního materiálu za účelem doplnění nebo zvětšení objemu součásti, s cílem dosáhnout ochrany proti korozi nebo zvýšené odolnosti proti opotřebení, případně z jiných důvodů. Navařování se využívá zejména při obnově a renovaci strojních součástí (hřídele).

2.2 Výhody a nevýhody svařování

a) Svarky místo odlitek

Výhody: Vyšší pevnost konstrukce, nižší citlivost proti nárazům, úspora hmotnosti až 50% úspora pracnosti 20 - 50 %, větší volnost při návrhu tvaru, menší přídavek na opracování (svarek 8 - 12 %, odlitek až 20 %). [4]

Nevýhody: Vyšší tepelná pnutí, menší tlumicí účinek, v případě malých dílů sériově vyráběných dražší výroba.

b) Svarky místo výkovků

Výhody: Větší volnost při návrhu tvaru, úspora hmotnosti.

Nevýhody: V případě tvarově jednoduchých malých dílů sériově vyráběných dražší výroba.

Praxe potvrzuje, že při svařování jsou nízké výrobní náklady zejména při kusové a malosériové výrobě nebo tam, kde je možno výrobu mechanizovat či automatizovat. Výhody a nevýhody výše uvedené u odlitků a výkovků platí pouze obecně, neboť pro konkrétní výrobek je nutno zohlednit ještě další vlivy. Zvolí-li se svařovaná konstrukce, musí být pro svařování přizpůsoben materiál a tvar konstrukce, aby bylo zaručeno optimální využití technických a ekonomických předností svařování. Při návrhu svaru nebo svařované konstrukce je proto nutná spolupráce konstruktéra s technologem. Výsledkem této spolupráce je záruka, že je možno svařovanou konstrukci vyrobit a to při dodržení požadavků nejen na její funkci, ale i na bezpečnost jejího provozu a na hospodárnost výroby. [4] [5]

Výhody svařování:

- Zjednodušení tvaru konstrukcí, snížení jejich hmotnosti
- Zvýšení tuhosti a pevnosti konstrukcí
- Možnost uplatnění optimální kombinace materiálů v konstrukci
- Zlepšení povrchových vlastností konstrukcí (navaření korozivzdorných vrstev)
- Jednoduchá možnost opravy konstrukcí
- Relativně snadná mechanizace a automatizace procesu svařování
- Zvýšení produktivity práce a snižování výrobních nákladů
- Velká operativnost při zavádění technologie svařování a při přípravě svařovacího pracoviště

Nevýhody svařování:

- Svařování je zákonitě prováděno tepelně deformačním procesem, který je výsledkem místního ohřevu základního materiálu. V místě svaru dojde při svařování k prudkému nárůstu teploty až nad teplotu tavení základního materiálu. Směrem od osy svaru teplota exponenciálně klesá a mění se navíc po délce svarové housenky s postupem svařování. Výsledkem procesu svařování je proto místně i časově nerovnoměrný ohřev základního materiálu
- Ve svařované konstrukci vznikají následkem nerovnoměrného ohřevu a tuhosti konstrukce vnitřní pnutí a deformace. Jejich velikost závisí na typu a materiálu konstrukce a na použité technologii svařování

- Následkem tepelně deformačního procesu dochází ve svarovém spoji ke změnám struktury a tím i ke změnám mechanických, fyzikálních a chemických vlastností ve svarovém spoji
- Svar může být místem výskytu vnitřních vad (trhliny), které mohou v závislosti na provozních podmínkách, na charakteru a velikosti vad, nepříznivě ovlivnit bezpečnost a životnost svařené konstrukce [4] [5]

2.3 Rozdělení svařování

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny a to na metody **tavného** svařování a na metody **tlakového** svařování. U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu. Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie, která formou makro nebo mikrodeformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. U každé metody svařování je v kulaté závorce uvedeno i číselné označení metody svařování. Podobně je toto označení metod svařování uvedeno v dalších materiálech o svařování, např. u WPS – technologické postupy, označování zkoušek svářečů apod.

A) Metody tavného svařování (0)

1. Svařování elektrickým obloukem (1)

- a) Obloukové svařování tavící se elektrodou (101)
- b) Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)
- c) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou (112)
- d) Obloukové svařování plněnou elektrodou (114)
- e) Vibrační svařování a navařování
- f) Pod tavidlem (12)
- g) Obloukové svařování v ochranné atmosféře (13)
- h) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG (131)
- i) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG (135)
- j) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (136)
- k) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (137)
- l) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG (141)

2. Elektrostruskové svařování (72)
3. Svařování plazmové (15)
4. Svařování plazmové - MIG svařování (151)
5. Svařování magneticky ovládaným obloukem (185)
6. Elektronové svařování (76)
7. Plamenové svařování (3)
 - a) kyslíko-acetylenové svařování (311)
 - b) kyslíko-vodíkové svařování (313)
8. Svařování slévárenské
9. Svařování světelným zářením (75)
10. Laserové svařování (751)
11. Aluminotermické svařování (71)
12. Elektroplynové svařování (73)
13. Indukční svařování (74)

B) Metody tlakového svařování (4)

1. Tlakové svařování za studena (48)
2. Odporové svařování (2)
 - a) stykové
 - α) stlačovací stykové svařování (25)
 - β) odtavovací stykové svařování (24)
 - b) přeplátováním
 - α) bodové odporové svařování (21)
 - β) švové odporové svařování (22)
 - γ) rozválcovací švové svařování (222)
 - δ) výstupkové svařování (23)
 - ϵ) vysokofrekvenční odporové svařování (291)
3. Svařování indukční (74)
4. Svařování v ohni
 - a) kovářské svařování (43)
 - b) tlakové svařování s plamenovým ohřevem (47)
5. Třecí svařování (42)
6. Ultrazvukové svařování (41)
7. Výbuchové svařování (44)

[5] [4]

Z tohoto rozdělení je patrné, že metod svařování existuje opravdu velké množství. Volba vhodné metody často rozhoduje o kvalitě svarového spoje. Všechny tyto metody mají své charakteristické vlastnosti s řadou výhod, nevýhod i omezujících faktorů. Jelikož je tato práce věnována převážně svařování ocelových konstrukcí pod vodou, podrobněji jsou popsány jen vybrané metody, které nacházejí uplatnění právě v aplikaci svařování pod vodní hladinu. Detailněji budou tedy popsány následující metody: ruční obloukové svařování obalenou elektrodou, obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu, obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu - MIG, obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG, obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu - WIG a třecí svařování, jakož to jediný zástupce z řad tlakového svařování.

Všechny metody tavného svařování, které jsou aplikovány pro svařování pod vodou, mají jeden společný faktor. Jedná se o metody obloukového svařování. Proto se následující řádky nejprve zaměří na obecnou charakteristiku obloukového svařování před tím, než budou vysvětleny jednotlivé metody.

2.4 Elektrický oblouk

Svařovací oblouk je elektrický výboj kruhového průřezu, který prochází horkým ionizovaným plynem. Proud k udržování sloupce plazmy v ionizovaném stavu musí být dostatečný a napětí vyšší než je ionizační napětí. Pro svařovací oblouk je charakteristické napětí 10 až 50 V a proud 10 až 2000 A. V oblouku jsou na žhavé katodě uvolňovány elektrony, které procházejí sloupcem oblouku (vodivou plazmou) a jsou odváděny anodou. Oblouk se skládá z pěti oblastí (katodová skvrna, oblast katodového úbytku napětí, sloupec oblouku, oblast anodového úbytku napětí, anodová skvrna). [3]

Celkové napětí U na oblouku délky l je rovno součtu napětí v jednotlivých oblastech.

Pokles napětí na katodě a anodě závisí na ionizačním potenciálu plynu v oblouku; záleží na druhu a tlaku plynu a na materiálu elektrod. Pokles napětí v plazmatu závisí na složení par obklopujících oblouk.

Na své okolí má elektrický oblouk výrazné tepelné a mechanické účinky. Teplota oblouku dosahuje hodnot přes 5000 °C a zůstává přibližně stejná, ale rozdělení tepla na obě elektrody není rovnoměrné. Obecně se na kladné elektrodě získá více tepla než na záporné, neboť katoda se ochlazuje termoemisí elektronů a anoda se jejich dopadem

zahřívá. Poměr rozdělení tepla na elektrodách je přibližně 2/3 vytvořeného tepla na kladném pólu a 1/3 na pólu záporném. Je třeba podotknout, že uvedený poměr závisí na materiálu elektrod. [3]

Voltampérová charakteristika oblouku

Statická voltampérová charakteristika oblouku vyjadřuje závislost proudu na napětí oblouku při konstantní délce oblouku. Na vlastní tvar a polohu charakteristiky oblouku má značný vliv chemické složení elektrody, geometrie hrotu elektrody, složení plazmy oblouku i průměr elektrody.

Z těchto důvodů se někdy používá tzv. standardní statická charakteristika oblouku:

$$U = 20 + 0,04 I \text{ [V]}$$

[3] [5]

2.5 Ruční svařování obalenou elektrodou (111, MMA - Manual Metal Arc Welding)

Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody. Ty se skládají z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát, na který je nalisován obal elektrody.

Podle složení obalu rozdělujeme elektrody na:

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| - stabilizační | - tlustostěnné rutilové (RR) |
| - rutilové (R) | - kyselé (A) |
| - rutil - celulósový (RC) | - bazické (B) |
| - rutil - kyselé (RA) | - celulósový (C) |
| - rutil - bazické (RB) | |

Funkce obalu elektrod (v závorce jsou uvedeny přísady obsažené v obalu) :

- Ochrana svarového kovu před účinky atmosféry (plynotvorné látky - celulóza)
- Stabilizace hoření a kontrola oblouku (ionizační látky, soli alkalických kovů - Na, K, Ca, Ti)
- Ovlivnění metalurgických pochodů při tavení a chladnutí kovu. Zpomaluje chladnutí (struskovité přísady - magnezit, křemičitany, dolomit, živec, rutil aj.)

- Ochrana před vypálením některých prvků při průchodu sloupcem oblouku. Obal dále rafinuje (čistí) svarový kov a doplňuje vyhořelé prvky. V některých případech se legující prvky dodávají do svaru z obalu elektrody (feroslitin - ferocilium, feromangan, ferotitan aj.)
- Zvýšení produktivity svařování v případě použití elektrod s vysokým výtěžkem svarového kovu (železitý prášek)
- Zajištění snadného odstranění strusky [3] [5]

Technologie svařování obalenou elektrodou

Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou je poměrně jednoduchou metodou svařování jak z hlediska parametrů svařování, tak i z hlediska poloh svařování. Napětí na oblouku nemusí svářeč nastavovat a jeho hodnota je dána statickou charakteristikou elektrického oblouku.

Při vedení elektrického oblouku a elektrody je třeba postupovat následovně. Elektroda je mírně skloněna proti svarové housence, aby roztavená struska nepředbíhala elektrický oblouk a nezpůsobovala struskové vměstky ve svarovém kovu (vada svaru). Délka elektrického oblouku má být přibližně rovna průměru jádra elektrody.

Metoda MMA je velice oblíbenou a flexibilní technologií svařování. Její největší rozmach přišel v období druhé světové války. I dnes se jedná o jednu z nejvýznamnějších metod, ale její podíl klesá zejména na úkor metod svařování pod tavidlem MIG a MAG.

[3] [5] [13]

2.6 Obloukové svařování plněnou elektrodou (114, FCAW - Flux Cored Arc Welding)

Tato metoda označuje tavné svařování plněnou elektrodou neboli svařování trubičkovými elektrodami.

Pokud jde o práci a zařízení, je svařování trubičkovým drátem velmi podobné svařování MIG/ MAG. Nesvařuje se však plným drátem nebo elektrodou, ale kovovým pláštěm vyplněným tavidlem. Na začátku výroby plněné elektrody (trubičkového drátu) je obvykle páska, která se nejdříve tvaruje do tvaru písmene "U", do ní se potom ukládá tavidlo a legující materiály a nakonec se páska v sérii formovacích kladek uzavírá.

Jako u svařování MIG/ MAG závisí i tato metoda na ochranném plynu, který chrání svarovou oblast roztaveného kovu. Plyn se dodává buď samostatně (trubičkový drát je určen pro svařování v ochranné atmosféře) nebo vzniká rozkladem přísad z náplně (trubičkový drát s vlastní atmosférou). Kromě ochranného plynu produkuje trubičkový drát strusku, která slouží jako další ochrana při chladnutí svarového kovu a poté se z jeho povrchu odstraní.

Oblast použití je široká, přičemž záleží na typu plněné elektrody. Existují tři základní typy: plněné elektrody s kovovou náplní, plněné elektrody s rutilovou náplní a plněné elektrody s bazickou náplní. [14]

2.7 Obloukové svařování tavícími se elektrodami v ochranné atmosféře plynů (MIG -131, MAG - 135)

Při svařování v ochranné atmosféře plynu (GMAW - Gas Metal Arc Welding, MIG - Metal Inert Gas, MAG - Metal Active Gas) vzniká oblouk mezi nepřetržitým svařovacím drátem a svarkem. Oblouk a svarová lázeň jsou chráněny proudem inertního nebo aktivního plynu. Tato metoda se hodí pro většinu materiálů a přídavné materiály jsou k dispozici pro široký sortiment kovů. Svařování MIG/ MAG je podstatně produktivnější než MMA, kde se produktivita ztrácí pokaždé, když svářeč zastaví, aby vyměnil spotřebovanou elektrodu. Při MMA vznikají také materiální ztráty při vyhazování nedopalků a ztráty vzniklé rozstříkáním svarového kovu. Z každého kilogramu prodané obalené elektrody se asi jen 65 % stane součástí svaru (a zbytek se vyhodí). Používáním svařovacího a trubičkového drátu se účinnost zvýšila na 80 - 95 %. Svařování MIG/ MAG je univerzální metoda, kterou je možno ukládat svarový kov ve větším množství a ve všech svařovacích polohách. Používá se pro svařování velmi lehkých až středně těžkých ocelových konstrukcí, pro svařování slitin hliníku a zvláště tam, kde se vyžaduje vysoký podíl ruční práce svářeče. Trubičkové dráty nalézají uplatnění především v těžkých ocelových konstrukcích. [14]

2.8 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (141, TIG - Tungsten Inert Gas welding)

Jedná se o metodu, při které oblouk hoří mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou v ochraně inertního plynu, přičemž přídavný materiál je do oblouku podáván samostatně.

Svařování TIG zajišťuje výjimečně čisté a vysoce kvalitní svary. Protože nevzniká žádná struska, je sníženo na minimum riziko vměstků ve svarovém kovu a hotové svary nevyžadují žádné čištění. Metodu TIG lze použít téměř pro všechny kovy a hodí se jak pro ruční, tak pro automatizované svařování. Nejvíce se užívá na svařování hliníku a nerezavějících ocelí, kde je absolutně nejdůležitější celistvost svaru. Této metody se používá k vysoce kvalitním spojům v nukleárním, leteckém, chemickém a potravinářském průmyslu. [14]

2.9 Třecí svařování (42, FSW - Friction Stir Welding)

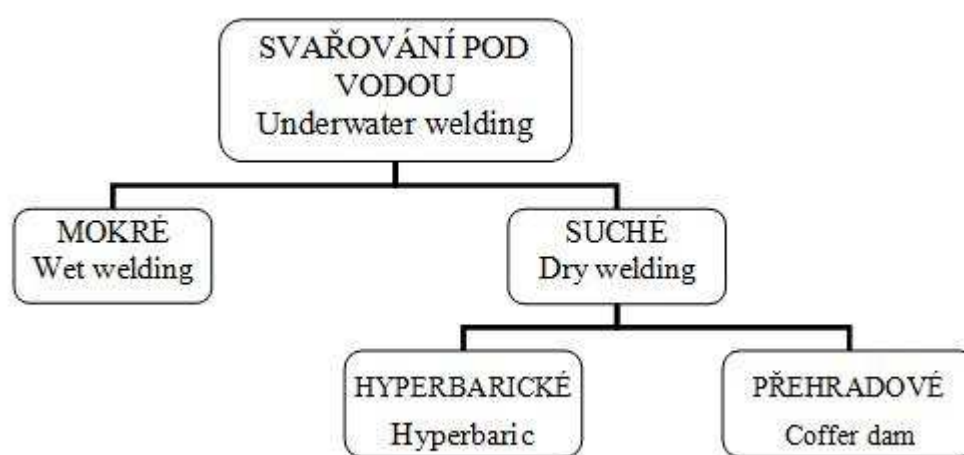
Svařování třením je proces plně pronikající pevnou fází, kterého lze použít při spojování plechů, v poslední době hlavně hliníkových, aniž by se dosáhlo jejich bodu tavení.

Při svařování třením se nástroj s cylindrickým ramenem a profilovaným kolíkem otáčí a pomalu se ponořuje do místa spoje mezi dva kusy plechu nebo do desky materiálu, které se k sobě svařují natupo. Součásti je nutno upnout do podložky tak, aby se jejich čela neoddálila. Teplo vzniklé mezi svařovacím nástrojem odolným proti opotřebení a svařencem způsobuje, že svařenec může změknout, aniž by dosáhl bodu tavení, a tak umožní, že nástroj přechází podél linie svaru. Změklý materiál je přenesen na vlečný okraj nástroje a je vykován těsným kontaktem ramene nástroje a profilem kolíku. Při chlazení mezi těmito dvěma kusy povoluje vazba pevné fáze.

Svařování třením lze použít při spojování hliníkových plechů a desek bez přídavného drátu nebo ochranného plynu. Je možno svařovat materiál o tloušťce 1,6 až 30 mm při plném průniku a bez pórů a vnitřních dutin. Daří se dosáhnout svarů o vysoké celistvosti s nízkou deformací, převážně u slitin hliníku a dokonce i u materiálů, které jsou považovány za obtížně svařitelné z hlediska konvenčních tavných svařovacích metod. [14]

3 Svařování pod vodou

Do poloviny 60. let 20. století se k svařování pod vodou využívalo výhradně metody mokrého svařování. Dnes jsou k dispozici další dvě techniky. I když se každá z nich uplatňuje v jiné oblasti, mají jeden společný faktor: voda není v přímém kontaktu s oblastí svaru. V takovém případě mluvíme o “suchém svařování“, kdy se proces svařování provádí v tzv. habitatech nebo kazetových přehradách. Podvodní svařování lze tedy rozdělit do tří, resp. dvou hlavních typů, které se úspěšně používají již řadu let. Schematické rozdělení je uvedeno v následujícím diagramu:



Obr. 1 - rozdělení metod svařování

Mokrý svařování - jedná se o nejpoužívanější metodu pro svařování pod vodou. Jak už název napovídá, svářeč - potápěč i svařovaná oblast jsou v přímém kontaktu s vodou.

Hyperbarické svařování - Tato metoda byla vyvinuta v polovině 60. let 20. století. Důvodem jejího vzniku byl požadavek na produkci kvalitnějších spojů, které v té době metoda mokrého svařování nemohla nabídnout. Při hyperbarickém svařování je svařovaná oblast obklopena domkem neboli habitatem, ze kterého je pomocí plynu veškerá voda vytlačena. Svařování se tedy provádí obdobně jako v běžných podmínkách.

Přehradové svařování - Při této metodě se svařovaná oblast oddělí od okolní vody pomocí mechanické bariéry, ale na rozdíl od hyperbarického svařování je otevřena do atmosféry. Následně se z této bariéry odčerpá veškerá voda, přičemž vzniknou totožné podmínky se svařováním nad vodní hladinou.

3.1 Příprava pro proces svařování pod vodou

Svařování ocelových konstrukcí pod vodou se provádí v podstatě shodně jako na suchu. Technologie je stejná. Nejprve se vysokotlakým vodním paprskem očistí materiál od nárůstů a sedimentů, potom se povrch obrousí nebo očistí vzduchovým otloukačem. Před zahájením svařování musí být materiál stříbřitě lesklý, bez jakýkoliv stop po korozi. Každopádně technolog musí vždy vypracovat technologický postup sváru - zda bude provedený na kořen s vybroušením profilu pro svár, položením kořenu a odstraněním strusky, očištěním a položením dalších vrstev požadovaných na konečný pevnostní svár nebo zda se jedná jen o běžný pomocný svár bez zvláštních požadavků na kvalitu a pevnost. [11]

3.2 Svařování za mokra (wet welding)

Jedná se o proces svařování, kdy jsou svářeč i svařovaná oblast v přímém kontaktu s vodním prostředím.

Svařování za mokra je technologicky náročná záležitost, při které hraje důležitou roli několik faktorů najednou. Nejde zde jen o provedení sváru, ale při použití této metody je problémový především svařovaný materiál, zejména oceli s vysokým uhlíkovým ekvivalentem. Na suchu jsou podmínky známy, ale voda je prostředí, které prudce ochlazuje svařovaný materiál. V případě kvalitního prokalitelného materiálu sice může být svar perfektní, ale svařovaný díl může prasknout těsně vedle svaru. Zhotovení dokonalého svaru nesouvisí jen s použitím vhodné elektrody pro svařování pod vodou, ale i s odborníkem - svařovacím technologem, který přesně ví, jak se budou svary v tomto prostředí chovat. [10] [11]

3.2.1 Metody mokrého svařování

Jedním z nejpoužívanějších procesů tavného svařování zůstává v dnešní době ruční obloukové svařování (MMA). Není tomu jinak ani u svařování pod vodou.

Při obloukovém svařování je jako zdroj tepla využíván elektrický oblouk, hořící mezi elektrodou a svařovaným materiálem, který taví kov elektrody a roztavuje povrch základního materiálu. Roztavený kov z elektrody přechází sloupcem oblouku do tavné lázně a slitím tohoto přídavného materiálu a nataveného základního materiálu vzniká svar.

Mimo metody MMA se používá svařování trubičkovým drátem (FCAW). První pokusy s uplatněním metody FCAW pro svařování pod vodou byly uskutečněny v bývalém Sovětském svazu, kde byla tato metoda hojně rozšířena, později byla přijata i v Japonsku. Kromě metody MMA a FCAW se posledních deseti letech, zejména ve Velké Británii, experimentovalo s metodou svařování třením - FSW, jejíž předností je zejména absence kapalných fází s úplnou eliminací plynů (vodíku a kyslíku) a skutečnost, že se nemění složení svařovaného kovu. Metoda také není závislá na pracovní hloubce.

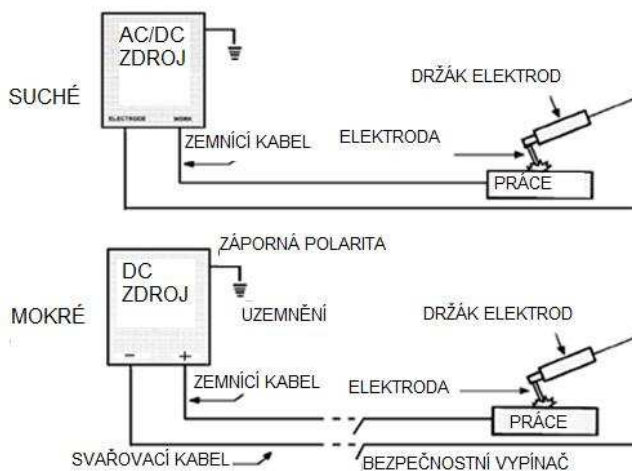
Nejnovějším pokrokem v kvalitě zhotovení svarů pod vodní hladinou je zavedení metody HAMMER HEAD, která je podrobněji popsána v kapitole zabývající se pokrokem ve kvalitě svarů vznikajících pod vodní hladinou. [7]

3.2.2 Vznik elektrického oblouku pod vodou

Obloukového svařování pod vodou je dosaženo vhodným uspořádáním elektrického obvodu, ve kterém proud přechází od svařovacího zdroje přes svařovací elektrodu, dále přes oblouk ke svarku a přes kabely se vrací zpět ke zdroji energie.

Z porovnání dvou schémat (obr. 1) jsou patrné rozdíly mezi běžným svařováním a svařováním pod vodou. Obvod mokrého svařování obsahuje navíc bezpečnostní vypínač, dvojitou izolaci kabelů a ke svařování se používá pouze stejnosměrný proud. Na obrázku je zapojení pomocí nepřímé polarity, ale běžně se používá i přímá polarita zapojení. Jinak je základní obvod stejný.

Obr. 2 - schéma zapojení běžného a mokrého způsobu svařování [2]



Jakmile se svařovací obvod uzavře, vznikne oblouk, který hoří v malé dutině, vytvořené v obalu elektrody. Obal se odtavuje pomaleji než kovové jádro a tím pomáhá při ochraně a kontrole kovových kapek, které se přenášejí sloupcem oblouku do svarové lázně. Tato dutina se nazývá délka hlavně a pro svařování pod vodou hraje velmi důležitou roli, neboť napomáhá k udržení konstantní a kontrolované délky oblouku. Proto i za snížené viditelnosti stačí potápěči vyvíjet na elektrodu mírný tlak, který spolu s konstantní rychlostí posunu elektrody obchází nutnost ovládní délky oblouku jako takové.

Obr. 3 - schéma svařovacího procesu



Teplu, které v místě oblouku vznikne, je dostatečně velké k odpaření obklopující vody. Typické teploty vznikající v oblouku dosahují hodnot přes 5000 °C. Oblouk je tedy obklopen štítem páry, podobně jako při klasickém svařování na vzduchu, kdy je oblouk obklopen štítem vytvořeným z plynu. Složení těchto par je ovlivněno reakcí s roztaveným kovem. Typicky se skládá ze 70 % vodíku, 25 % oxidu uhličitého a 5 % oxidu uhelnatého. Vlivem difúze může výsledný svar obsahovat velké množství vodíku a to až 100 ml/ 100 g svarových kovů pro rutilové elektrody. V běžném prostředí na vzduchu se hodnoty nasycení vodíku pro rutilové elektrody pohybují v rozmezí 25 - 30 ml/ 100g svarového kovu. U oxidačních elektrod jsou hodnoty podstatně nižší, pohybují se okolo hodnot 25 ml/ 100 g svarových kovů.

Disociace vodní páry v oblouku přispívá k vodíkovému křehnutí, které má za následek vznik trhlin a mikrotrhlin. Rychlé ochlazování svarové housenky zvyšuje pevnost v tahu, podporuje pórovitost a snižuje odolnost proti rázům.

Vzhledem k tomu, že se s rostoucí hloubkou zvyšuje i tlak, je svarová lázeň ovlivněna jednak zvýšením obsahu uhlíku a za druhé snížením obsahu křemíku a manganu, čímž se podporuje křehkost svaru. Hloubka také ovlivňuje stabilitu oblouku, při vyšších hloubkách se oblouk obtížněji udržuje. Jedním ze způsobů jak tomuto jevu čelit, je

zvýšení svařovacího proudu, to má za následek velké teplotní ovlivnění svařované oblasti. Proto se ve velkých hloubkách používá elektrody z nerezové oceli nebo niklu (tzv. DUPLEX). Další možnost spočívá v použití nižšího svařovacího proudu s nepřímou polaritou obvodu, která přispívá ke kontrole pórovitosti a praskání. Jinou technikou je použití vyšší rychlosti svařování s kratším obloukem. [9]

3.2.3 Techniky svařování

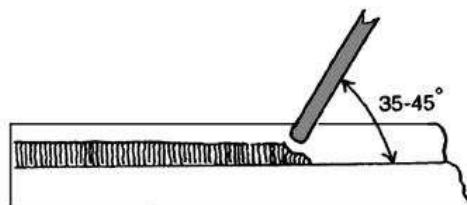
Při svařování pod vodou se využívá tří základních technik zhotovení svařovaného spoje.

- Metoda tažením
- Metoda kýváním
- Metoda „step- back“

Jedná se o jednoduché metody vycházející z principu technik používaných v běžných podmínkách. Jejich používání není dáno striktně, každý potápěč se od nich může libovolně odchylovat a používat vlastních metod.

1. Tažení

Při této technice se elektroda jednoduše táhne místem požadovaného svaru. Při postupném pohybu vzniká úzká svarová housenka, jejíž šířka by měla být rovna jeden a půl až dvojnásobku průměru použité elektrody. Jedná se o jednoduchou techniku. Základní požadavky na zhotovení přijatelného sváru jsou kladeny na správný úhel sklonu elektrody a konstantní svařovací rychlost. Obecně lze říci, že při strmějším stoupání a pomalejší rychlosti posunu vzniká širší svarová housenka a hlubší závar. Pro mokré svařování by se mělo používat mírnějšího stoupání než pro svařování na povrchu. Hodnota by se měla pohybovat mezi 35- 45 °. Takový sklon umožňuje dobré unikání vznikajících bublin a tudíž menší ovlivnění svarové lázně. Technika tažení je vhodná i pro zhotovení tupých svarů.

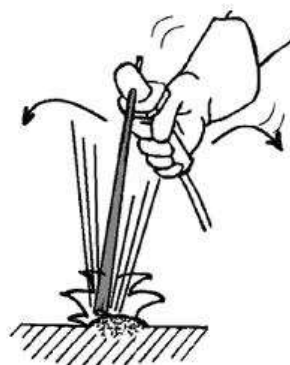


Obr. 4 - metoda tažením [1]

2. Kývání

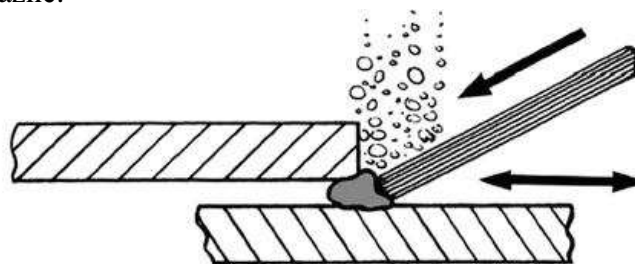
Širokou svarovou housenku lze tvořit kývavým pohybem elektrody při jejím současném podélném pohybu. Šířka housenky závisí na výkyvu. Kývavým způsobem se svařuje pomaleji, vnese se více tepla do svaru a zvětšuje se množství navařeného kovu na jednotku délky. Při použití této metody se musí dbát na to, aby při návratu elektrody z jedné polohy do druhé byla tavná lázeň stále tekutá. Při předbíhání strusky se zvětšuje nebezpečí struskových vměstků z důvodu mísení strusky s tavnou lázní.

Obr. 5 - metoda kýváním [1]



3. Step - back

Jedná se o poněkud náročnější metodu, jejíž kvalita provedení se opírá o zkušenosti potápěče. Princip spočívá ve vedení elektrody přímým směrem a následným vrácením několik milimetrů zpět do svarové lázně.



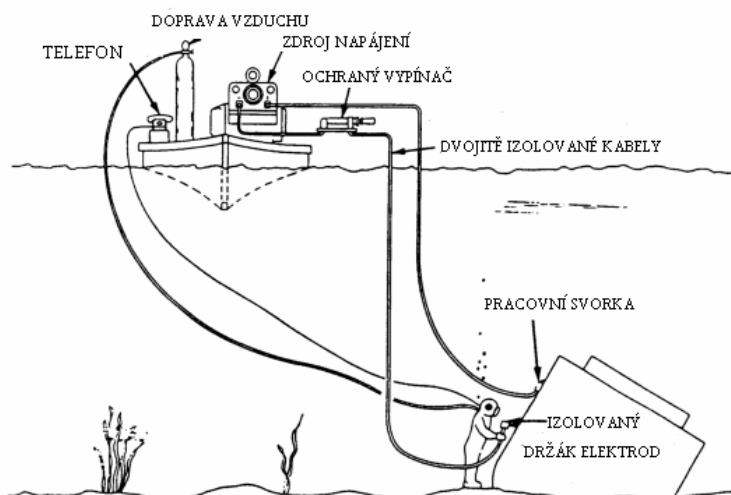
Obr. 6 - metoda Step- back [1]

3.2.4 Elektrické vybavení

Pro ruční obloukové svařování se používají dva základní typy svařovacích zdrojů. Jedná se o zdroje střídavého napětí (AC) a o zdroje stejnosměrného napětí (DC). U stejnosměrných zdrojů zdrojů se využívá zapojení obvodu s přímou polaritou (DCRP) a

nepřímou polaritou (DCSP). Při metodě svařování za mokra se ale výhradně používá stejnosměrných zdrojů. Důvodem jsou jednak bezpečnostní opatření, ale také skutečnost, že při použití střídavého zdroje vznikají problémy s udržení oblouku pod vodou. Další odlišností od svařování v běžných podmínkách je používání ochranného vypínače, dvojité izolovaných kabelů a impregnovaného držáku elektrod. Svářeč také musí udržovat kontakt s operátorem na hladině za použití telefonu. Uspořádání svařování za mokra (obr. 7) [3] [7]

Obr. 7 - uspořádání mokrého svařování [6]



3.2.4.1 Svařovací zdroje

Pro obloukové svařování se používají tyto zdroje:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1. svařovací transformátory | pro svařování střídavým proudem |
| 2. točivé stroje | } pro svařování stejnosměrným proudem |
| 3. svařovací usměrňovače | |
| 4. invertory | |

Jak již bylo řečeno, pro svařování za mokra se používá pouze stejnosměrný proud, z čehož vyplývají jistá omezení. Výhody a nevýhody stejnosměrných zdrojů napětí:

Výhody použití zdrojů stejnosměrného proudu:

- Poměrné mobilní stroje
- Umožňují používat prakticky všechny typy elektrod s dobrými výsledky
- Možnost měnit polaritu obvodu dodává stejnosměrným zdrojům větší flexibilitu
- Snadnější udržení oblouku
- Bezpečnější

Nevýhody použití zdrojů stejnosměrného proudu:

- Vyšší pořizovací i provozní náklady
- U starších typů hlučnost
- Nelze použít na všechny typy materiálů
- Dochází k foukání oblouku (jev zapříčiňující vznik magnetického pole, které odklání směr oblouku od svařované oblasti) [2] [3]

3.2.4.2 Svařovací kabely

Svařovací kabel přenáší proud od svařovacího zdroje přes elektrodu do svařovacího oblouku. Kabel spojující zdroj a svorku se nazývá zemnicí kabel. Tyto vodiče jsou nesmírně důležité pro účinnost a úspěch svařování a v neposlední řadě také pro zajištění bezpečnosti potápěče. Musí být řádně dimenzovány k dodávání potřebného množství proudu. Tloušťky vodičů musí být upraveny na délku kabelu a kabelové svazky musí být navrženy a postaveny tak, aby byla zajištěna jejich flexibilita a zároveň dobrá odolnost proti opotřebení. Velký důraz je kladen především na kvalitní a dostatečnou izolaci, která zajišťuje bezpečnost potápěče a eliminuje nežádoucí úbytky napětí. Potápěči by měli pracovat pouze s kabely, které splňují náročné normy (např. americká norma BS638). Kabely mohou být kryty jednou nebo dvěma izolačními vrstvami.

Tvar kabelů bývá kruhového nebo plochého průřezu, v dnešní době se vodiče kabelů vyrábějí nejčastěji s měkké mědi, neboť má nejnižší elektrický odpor.

Při operaci mokrého svařování hraje volba optimální tloušťky kabelu důležitou roli, zejména pro práci, která probíhá ve značné vzdálenosti od zdroje energie. S rostoucí hloubkou se totiž zvyšuje úbytek napětí (viz obrázek 7). Zvyšováním průřezu kabelů můžeme úbytek napětí eliminovat. Škála nabízených kabelů se pohybuje v rozmezí od 35 do 95 mm². Nejčastěji se používá průřezu 50 mm².

Aby byla potápěči umožněna snadná manipulace s držákem elektrod při svařování s kabely o velkém průřezu, může být použit takzvaný bič. Jedná se o kabel o průřezu 35 mm², který se připojí k držáku elektrod. Kromě méně namáhavé manipulace umožňuje i přesnější vedení elektrody. [2] [12]

3.2.4.3 Zemní svěrky

Pro přivedení druhého pólu od svařovacího zdroje na svařovaný materiál slouží na konci zemnicího kabelu svěrka. Svěrky musí být na svařovaný materiál upnuty pevně, aby se přechodový odpor snížil na minimum. Při připojování svěrky na lakované nebo jinak nevodivé povrchy se musí kontaktní plocha vybrousit na kovový povrch. Správným umístěním zemnicí svěrky můžeme zajistit dobré vlastnosti oblouku a minimalizovat foukání oblouku. Svěrka se umísťuje v blízkosti místa svařování, aby cesta proudu přes součást byla co nejkratší (doporučená vzdálenost se pohybuje okolo 300 mm). Dalším důležitým faktorem, na který je třeba brát zřetel, je velikost plochy uzemnění. V ideálním případě styčná plocha zabírá stejnou plochu jako průřez vodiče.

Svěrek existuje několik typů, které se liší zejména způsobem připevnění k svařované součásti. Jedná se o klešťovité, ztužidlové nebo v poslední době stále více oblíbené magnetické svěrky. [2] [3]

3.2.4.4 Bezpečnostní vypínače

Bezpečnostní vypínače slouží k okamžitému přerušení svařovacího obvodu. Jejich použití je základním bezpečnostním prvkem operace mokrého svařování. Obvykle jsou označovány jako “NOŽOVÉ“ vypínače, ale díky své funkci bychom měli hovořit spíše o jističích. Obecně spadají do dvou kategorií:

- Jedno pólové
- Dvou pólové

Volba konkrétního typu vypínače není striktně předepsána. Nejdůležitější věcí zůstává, aby vypínač plnil svoji funkci, tedy aby na pokyn potápěče umožnil okamžité přerušení dodávky proudu. Vypínač je ovládán obsluhou (operátorem) nad vodní hladinou, která je v přímém kontaktu s pracujícím potápěčem pomocí telefonní linky.

Vzájemná komunikace mezi potápěčem a operátorem má svá jasná a striktní pravidla. Příkaz k přepnutí do aktivní polohy udává potápěč těsně před zahájením operace svařování, v ostatních případech, například při výměně elektrody, musí být dodávky proudu přerušeny! Nutno podotknout, že se vypínač musí nacházet na přehledném, dobře přístupném místě, aby bylo umožněno jeho ovládání za všech okolností. Dalším požadavkem je jeho instalace ve vodorovné poloze a připevnění na nevodivý podklad (dřevo, plast...). [2] [12]

3.2.5 Osobní vybavení a drobné nářadí

1. Svařovací štít a svařovací helma

Svařovací štít je tvořen z vyměnitelného skla a rámu, který je připevněn ke svařovací helmě pomocí dvou bočních klipsů. Díky nim se štít může odklápět dle potřeby potápěče (obrázek č. 7). Jedná se o běžné ochranné svářečské sklo, dodávané ve třech běžných odstínech, ale dle požadavků zákazníka je nabízena i širší škála produktů. Standardně se helmy vyrábějí ze sklolaminátu, ale v dnešní době se k jejich výrobě stále více používá nerezová ocel. Ocelová helma má řadu výhod, například je lépe vybalancovaná na ponory, kdy je potřeba "držet" helmu rovně. Tradiční sklolaminátové helmy mají řadu problémů se šrouby, které drží přední sklo, u ocelové helmy se tento problém eliminuje. Alternativou potápěčské helmy může být tzv. „celoobličejová“ dýchací maska se štítem odklápějícím se do strany. Dopravu vzduchu (případně upravené dýchací směsi) do helmy (dýchací masky) zajišťují tlakové hadice spouštěné z hladinové základny. Pro případ selhání dodávek z hladinové základny je potápěč navíc vybaven lahví se vzduchem. Pro lepší viditelnost pod hladinou mohou být helmy (masky) opatřeny svítilnou.



Obr. 8 - svařovací helma se štítem [9]

2. Pryžové rukavice

Pryžové rukavice jsou nedílnou součástí potápěčské výstroje pro mokré svařování. Doporučuje se používat dvojice rukavic. Svrchní rukavice by měly být z tlusté pryže, která minimalizuje riziko popálení z rozstříkovaného roztaveného kovu, a to zejména při vertikální poloze svařování. Spodní pár rukavic slouží zejména jako izolace.

3. Oblek (neopren)

Pracovní potápěč musí být vybaven vhodným potápěčským oblečením, zpravidla tzv. suchým oblekem, na který se pak oblékne ochranný pracovní oděv, který chrání potápěčský oděv proti mechanickému poškození. Suchý oblek je tvořen neoprenem o tloušťce stěny cca 5 – 6 mm, který chrání potápěče proti prochlazení. Běžně se takto může

potápěč potápět i několik hodin při teplotách vody kolem 1 °C. Suchý oblek zajišťuje, že se na tělo potápěče nedostane prakticky žádná okolní voda.

4. Držák elektrod

Držáky elektrod pro svařování pod vodou se liší od běžně používaných držáků v izolaci a ve způsobu držení elektrod. Podvodní držáky jsou navrženy pomocí systému „twiat-grip“ pro uchycení elektrod. Tento systém umožňuje uchycení elektrody pouze v jedné poloze (45 nebo 90°) - na rozdíl od běžných držáků, které umožňují upnutí elektrody v obou polohách. Držáky pro svařování pod vodou nesmí být používány pro svařování nad hladinou, neboť jsou navrženy tak, aby jejich chlazení zajišťovala okolní voda. Držáky jsou vyráběny v různých velikostech, aby byla zajištěna kompatibilita s různými druhy elektrod. Velikost držáku musí také odpovídat používanému proudu, aby nedocházelo k jeho přehřívání. Před zahájením sestupu pod vodu by se měl potápěč ujistit, že je izolace držáku v bezvadném stavu.

5. Drobné nářadí

Pro přípravu svařovaného materiálu musí být potápěč vybaven potřebným nářadím. Jedná se o pneumatically, hydraulicky nebo ručně ovládané nástroje, které zahrnují brusky, jehlové pistole, otloukací kladivo nebo drátěný kartáč.

6. Svařovací elektrody

Elektrody pro svařování pod vodní hladinou vycházejí z běžných elektrod. Od typů používaných v běžném prostředí se liší pouze voděvzdorným lakem. Skládají se tedy z jádra (drátu), obalu elektrody a povrchového laku. Speciální elektrody pro svařování pod vodou se rozdělují do dvou typických skupin:

1. Elektrody z měkké oceli (C/ Mn)
2. Elektrody z nerezové oceli a niklové elektrody (neboli DUPLEX)

Nejběžněji se používají elektrody z měkké oceli. Elektrody druhého typu nemají tendenci k většímu rozšíření z důvodu vysoké ceny a horších charakteristik oblouku. C/ Mn elektrody jsou vhodné pro svařování většiny konstrukčních ocelí s nízkým obsahem uhlíku. Nerezové/ Ni elektrody se používají ke svařování ocelí s vysokým obsahem

uhlíku, slitin nebo nerezových ocelí. Obal elektrod je prakticky stejný jako u běžných typů (bazický, rutilový, kyselý aj.).

Doposud jsme se zaměřili pouze na osvědčené starší elektrody. Nyní je prostor pro představení nových speciálních elektrod, které postupně nahrazují své předchůdce. U běžných elektrod byla problematická (mimo již zmiňovaných problémů) zejména malá houževnatost svaru. Podrobněji si probereme dvě nové elektrody, které tento problém eliminují.

- **Elektrody Hydroweld FS** - Více než pětiletý výzkum britské společnosti Hydroweld zrodil speciální elektrodu, která byla navržena pro práci ve všech polohách do hloubky 100 metrů. Elektrody se vyznačují vynikajícími vlastnostmi, které spolu s uživatelskou přívětivostí předurčují tuto elektrodu pro snadnou výrobu vysoce kvalitních svarů. Prodloužení 17 %, pevnost v tahu 510 MPa. Tyto elektrody se staly průmyslovým standardem a jsou schváleny např. pro opravy válečných lodí NATO.
- **Elektrody Barracuda gold** - Jedná se o speciální elektrodu s rutilovým obalem s přísadou niklu a železných prášků. Elektroda je vhodná pro svařování ve všech polohách a produkuje vysoce kvalitní svary. Prodloužení 12 - 13,5 %, pevnost v tahu 564 MPa.

3.2.6 Výhody a nevýhody mokrého svařování

Výhody:

- Všestrannost a nízké náklady na mokré svařování činí tuto metodu velmi žádoucí
- Rychlost, se kterou je operace provedena
- Menší náklady v porovnání se suchou metodou
- Svařování může být provedeno v hůře přístupných oblastech
- Používá se standardní svářecí techniky přizpůsobené pro práci pod vodou

Nevýhody:

- Rychlé ochlazování svarového kovu od okolní vody. Přestože rychlé chlazení zvyšuje pevnost v tahu, klesá tažnost a houževnatost
- Velké množství vodíku, které disociuje z vodních par do svarové lázně, zapříčiňuje vodíkové křehnutí, vznik trhlin a mikrotrhlin. Trhliny se mohou

zvětšovat a vést až ke zhroucení ocelových konstrukcí. Vodíkové křehnutí je nejpalčivější téma mokrého svařování, ale obrovský pokrok v oblasti mokrého svařování tento problém zcela eliminuje

- Další nevýhodou je špatná viditelnost. Svářeč někdy není schopen udržovat konstantní velikost oblouku. V dnešní době řeší tento problém použití nových technologií (např. elektroda HAMMERHEAD)

3.2.7 Bezpečnostní rizika

Pro potápěče existují tři hlavní typy rizik, se kterými se může při svařování pod vodou setkat. Za prvé existuje potenciální riziko úrazu elektrickým proudem. Hlavním opatřením k zabránění takového úrazu spočívá v používání kvalitní izolace a již zmiňovaných bezpečnostních vypínačů. Další nebezpečí hrozí od plynů vznikajících při hoření oblouku. Díky vysoké teplotě, panující v místě oblouku, se odpařovaná voda rozkládá na vodík a kyslík, díky čemuž vzniká výbušná směs detonující přímo před potápěčem. Třetím nebezpečím, které ohrožuje zdraví potápěče, nese název Kesonova nemoc. Potenciální nebezpečí může také vzniknout od vodní fauny, zejména v oblastech s výskytem žraloků.

Kesonova nemoc

Během pobytu ve velké hloubce (v prostředí s vyšším tlakem než je tlak atmosférický) dochází v tkáních k rozpouštění většího množství vzduchu. Při náhlém snížení tlaku (dekompresi), např. rychlým vynořením, se vzduch (zejména dusík) z krve uvolňuje ve formě bublinek a dochází ke vzduchové (plynové) embolii. Proto každý potápěč při získávání licence musí projít školením o dekompresní problematice a naučit se pracovat s tzv. dekompresní tabulkou, která stanovuje maximální čas pobytu potápěče v dané hloubce, kdy nemusí provádět tzv. dekompresní zastávky, anebo časy, kdy je nezbytné dekompresi provádět. Tedy postupné a pomalejší vynořování z hloubky, aby se dusík obsažený v krvi uvolnil přes plíce a potápěč jej mohl volně vydýchat. Např. při 60ti minutovém ponoru v hloubce 65 metrů a při použití běžného vzduchu, je nutné dodržet postupné vynoření s pěti dekompresními zastávkami, jejíž celková délka pak činí 185 minut!

Z tohoto důvodu se pro potápění ve větších hloubkách používají speciální dýchací směsi plynů, např. TRIMIX - směs helia, dusíku a kyslíku nebo NITROX - vzduch obohacený o kyslík.

Další riziko, které je spojeno s dusíkem, je tzv. hloubkové opojení. To vzniká ve větších hloubkách než 40 metrů. V podstatě se jedná o narkotické působení dusíku, které pak může nastolit stav „opojení“, jehož účinky jsou podobné jako např. po požití alkoholických nápojů. Potápěč ztrácí soudnost a snadno může podcenit rizika spojené s ponorem a ohrozit tak svůj život. V hloubce větší než 60 metrů už hrozí potápěči také náhlé bezvědomí. Hloubkové opojení lze eliminovat za pomoci již zmiňovaných dýchacích plynů.

3.2.8 Současný stav a pokrok ve kvalitě

Pověst mokrého svařování, vzniklá v průběhu posledních let, nastartovala argumenty kritiků, že tato metoda produkuje nekvalitní svary náchylné ke křehnutí a praskání. Už v roce 1983 vyvíjí Americká svářečská společnost (AWS) standard svařování - AWS D 3.6 specifikace pro podvodní svařování. Tato specifikace uvádí čtyři třídy svarů s označením A, B, C a O, které mají být srovnatelné se svary provedenými běžnou konvenční metodou. V posledních letech došlo v procesu mokrého svařování k dramatickému zlepšení jakosti svarů. To rozšířilo potenciál mokrého svařování k vytváření projektů, které byly dříve nerealizovatelné. S příchodem nových mokrých svařovacích elektrod HYDROWELD FS a vývojem moderních zdrojů energie dokáže nyní svařování pod vodou nabízet jakost svarů srovnatelnou se svary vytvořených klasickou metodou. Zatímco třídy B a C se dalo běžně dosáhnout starými metodami, nejkvalitnějších svarů třídy A lze dosáhnout až nyní.

Specifikace AWS D 3.6 je každých pět let aktualizována, aby metody svařování pod vodou držely krok s nejmodernějšími poznatky z oblasti konvenčních metod svařování.

[8]

V roce 2005 se objevují první zprávy o zcela nové technice pro mokré svařování pod vodou. Jedná se o metodu HAMMERHEAD, vyvinutou Britskou společností Piranha. Systém pracuje na principu bodového svařování a má předpoklady nastartovat skutečnou revoluci ve svařování pod vodou.

Tento poloautomatický systém se skládá ze speciální nerezové elektrody (Cr- Ni- Mo) a svařovacího zdroje Piranha II. Při práci s tímto systémem se potápěč stává pouze jakýmsi prostředníkem mezi svařovanou oblastí a elektrodou. Na potápěče nejsou kladeny vůbec žádné nároky, není třeba kontrolovat rychlost vedení elektrody, úhel sklonu, délku

oblouku a dokonce systém obchází nutnost očistit plochu svařování od jakýchkoliv nečistot. Princip je založen na bodovém svařování, kdy potápěč pouze přiloží elektrodu v místě požadovaného spoje a vyvine na ní tlak. Řídicí jednotka nastaví primární velikost proudu, který pronikne dvěma materiály a vypálí do nich díru. Poté řídicí jednotka nastaví sekundární velikost proudu, díky kterému dojde ke vzniku svaru mezi oběma svařovanými částmi. Jedná se v podstatě o analogii nýtu.

Elektrody Hammerhead byly vyvinuty pro bodové svařování, ale díky jejím mechanickým a chemickým vlastnostem se dají použít i pro běžné svařování pod vodou.

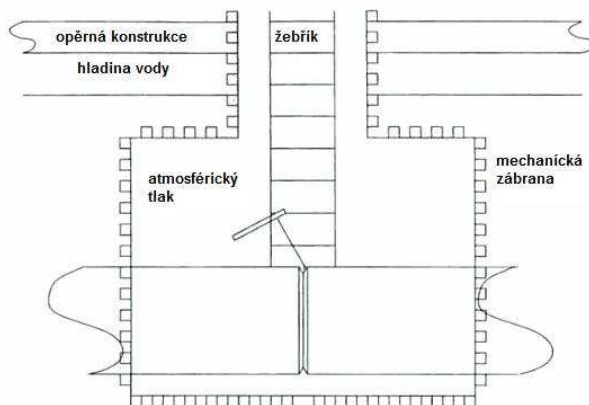
Hammerhead je poloautomatický systém určený pro svařování desek do tloušťky 32 mm, přičemž obě desky mohou být z odlišného materiálu. Použití metody je vhodné i do zakalených vod s nízkou nebo prakticky nulovou viditelností.

3.3 Suché svařování (dry- welding)

Suché svařování umožňuje uplatnit odlišný přístup k provádění svařování pod vodou. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, jedním z hlavních problémů mokrého svařování je problematika kvality zhotovených svarů, které jsou náchylné zejména k vodíkové křehkosti a následnému praskání. Proto se v 60. letech 20. století začíná zkoumat nová technologie, která by umožňovala tvorbu kvalitních svarů. Suché svařování ocelových konstrukcí pod vodou můžeme rozdělit do dvou, respektive tří skupin.

3.3.1 Přehradové svařování

Originální anglické označení nese název cofferdam welding. Pojem přehradové svařování je pouze volným překladem. Této metodě bude věnováno jen několik řádků, protože se svařování pod vodou dotýká jen okrajově. Princip je velice jednoduchý. Oblast, která má být svařována, se od okolní vody oddělí mechanickou bariérou, která sahá až k hladině vody. Z takto vybudované kapsy se veškerá voda odčerpá a následné svařování probíhá za identických podmínek jako běžné svařování. Je zřejmé, že tato metoda má úzké uplatnění. Lze jí aplikovat ke svařování v řádově metrových hloubkách a pouze pobřežních vodách. Uplatnění tedy nachází zejména při opravách mol a ostatních pobřežních struktur. Ve vnitrozemských státech se s touto aplikací můžeme setkat při opravách jezů nebo čističek vod, kdy je okolí svaru odděleno pomocí ocelových tvarovaných desek. Schéma je znázorněno na obr. 9.



Obr. 9 - schéma přehradového svařování [9]

3.3.2 Hydroweld svařování

Nejvýstižnějším českým synonymem je „polosuché“ svařování. Jedná se o přechod mezi již objasněnou metodou mokrého svařování a metodou svařování suchého. Při této metodě je svařovaná oblast oddělena od okolní vody pomocí mechanických zábran, které jsou vyrobeny z průhledného materiálu. Zábrany obklopují svařovanou oblast ze všech stran mimo spodní části. Tímto vzniklým otvorem proniká k místu svářeč s elektrodou (obr. č. 10), který je v přímém kontaktu s vodou. Jedná se o jednoduchou metodu, produkující kvalitní sváry. Vybudovaná průhledná konstrukce je lehká a je posunována dle požadavku potápěče. Ke zhotovení svarů se používá jednak metody MMA, tedy obloukového svařování obalenou elektrodou, ale běžněji se využívá metody FCAW - svařování trubičkovým drátem. Tento poloautomatický proces produkuje kvalitní sváry a je uživatelsky přívětivější. Použití metody FCAW pro aplikaci v systému hydroweld je znázorněno na obr. 10. Při použití této metody sice odpadá problém s vodíkovým křehnutím, ale nadále je svarová lázeň ovlivněna vysokým tlakem rostoucím s hloubkou svařování. Při požadavku na vysoce kvalitní sváry se musí oblast svařování předehřívat. Velikost předehřívací teploty závisí na složení materiálu a tloušťce svařovaných částí. Vybavení a bezpečnostní rizika spojená s tímto typem podvodního svařování jsou stejná jako při mokřém svařování. [2]

Hyperbarického svařování je využíváno zejména při opravách potrubí vedoucích pod mořskou hladinou, kdy je kladen velký důraz na kvalitu svarů. I přes velký pokrok v technologii mokrého svařování nemůže tento proces kvalitou svarů hyperbarickému svařování konkurovat a tak je i přes mnohonásobně vyšší náklady jedinou možností pro svařování v této oblasti. Finanční náklady jsou opravdu velké, zhotovení svaru ve 100 metrové hloubce na potrubí o průměru asi 400 mm stojí okolo milionu amerických dolarů. Habitaty váží několik desítek tun, tudíž vznikají problémy s jejich umístěním na požadované místo, na které jsou spuštěny za pomoci jeřábu. Na některých místech může svařované potrubí ležet příliš blízko u mořského dna. V takovém případě je nutno tuto část mořského dna narušit, aby vzniklo dostatečné místo k umístění habitatu. [10]

Na habitaty jsou kladeny nejrůznější požadavky. Jejich rozměry musí splňovat určitá kritéria. Není zde kladen důraz pouze na dostatečný prostor, který má zajišťovat svářeči dobrý přístup ke svařované oblasti, ale i na vhodné prostory k umístění svařovací techniky, pomocného nářadí a v neposlední řadě musí být potápěči umožněno pohodlné převlečení z neoprenu do pracovního ošacení a naopak. Habitaty jsou osazeny osvětlením a digestoří pro odsávání plynů, vznikajících při svařování. Jak již bylo zmíněno, atmosféra uvnitř habitatu je tvořena směsí kyslíku a hélia. V poslední době se experimentuje se směsí kyslík - argon. Běžný vzduch se používá pouze do hloubky 15 metrů.

Pro hyperbarické svařování se využívá nejrůznějších svařovacích metod. Mezi nejpoužívanější patří tyto: MIG, MAG, MMA, FCAW a WIG. Poslední ze jmenovaných WIG - se stala nejosvědčenější metodou, která za vysoké produktivity práce tvoří vysokojakostní svary. Všechny tyto metody jsou podrobněji rozebrány ve druhé kapitole. Svařování se provádí ručně nebo za použití poloautomatických systémů.

3.3.4 Výhody a nevýhody suchého svařování

Ačkoliv se hyperbarické nebo hydroweld (polosuché) svařování provádí v suchém prostředí, stále naráží na jeden podstatný problém. Tímto problémem zůstává svařovací hloubka, která výrazně ovlivňuje zejména svarovou lázeň a vlastnosti svařovacího oblouku. Jako příklad nám poslouží aplikace metody MIG. Do hloubky 47 metrů nevykazuje tato metoda žádné rozdílné vlastnosti od aplikace na povrchu. Po překonání

této hloubky ale vznikají problémy se zužováním oblouku, který se stává hůře kontrolovatelným. Největší problémy pak mimo nadprůměrné produkce kouře vznikají vysokým rozstříkáním svařovaného kovu. [2]

Druhý významný problém je společný s mokřím svařováním. Jedná se o sycení krve dusíkem. Problematice postupného vynořování a dodržování dekompresních limitů se již zabývala kapitola 3.2.5 Bezpečnostní rizika. Nyní si však představíme odlišnou možnost týkající se doby pobytu pod hladinou.

Po dokončení svařování nebo po ukončení směny svářeče, opouští svářeč habitat a vrací se na hladinu. Cestou nekoná žádné dekompresní zastávky. Proces dekomprese se totiž uskuteční na palubě lodi ve speciální dekompresní komoře. Jedná se o zařízení, které umožňuje plynule (a pro člověka bezpečně) snížit tlak na hodnotu atmosférického tlaku. Potápěč tedy podle tabulkových hodnot stráví v komoře potřebný čas, za který se množství dusíku v krvi postupně sníží na bezpečnou hodnotu.

Výhody suchého svařování (hyperbarického):

- Vysoká kvalita svarů. I při práci ve velkých hloubkách vykazuje metoda vynikající výsledky. V simulovaných podmínkách se daří svařovat až v 600 metrových hloubkách. Hloubky nad 300 m budou ale vyžadovat robotizované systémy
- Svařování se provádí v izolovaném ocelovém stanovišti, které je imunní vůči mořským proudům a chrání svářeče před mořskými živočichy. Habitat vytváří suché a teplé prostředí s dobrým osvětlením
- Maximální produktivita: Jakmile je stanoviště připraveno k použití, může být svařování provozováno bez přestávek. Dochází pouze k výměně svářečů, kteří pracují na směny
- Jelikož je habitat osazen kamerou, povrchový tým může kontrolovat průběh práce, popřípadě pořizovat obrazový záznam a koordinovat činnost svářeče
- Jednoduchá příprava svařovaných materiálů
- Předehřev a tepelné zpracování: Předehřívání materiálu se provádí pomocí indukčního ohřevu. Ten má dobrý vliv na oblast svařování a eliminuje popraskání. V habitatech je možné i nejrůznější následné tepelné zpracování

- Provádění nedestruktivních zkoušek: Svářeči, pracující v habitatech, jsou rovněž vyškoleni jako kontroloři. Při následné kontrole se využívá nedestruktivních zkoušek (vizuální prohlídka, kapilární zkoušky, magnetické apod.) [2]

Nevýhody suchého svařování (hyperbarického):

- Hlavní nevýhoda suchého hyperbarického svařování spočívá ve vysoké ceně
- Jeden habitat lze obvykle použít je pro jeden průměr potrubí, které má být svařováno
- Složitá příprava před samotným svařováním. Doprava a umístění habitatu na požadované místo vyžaduje podporu velkého počtu pracovníků
- Ve větších hloubkách přetrvávají problémy s udržení elektrického oblouku a kontrolou svarové lázně [2]

4 Závěr

Od prvního provedení svařování ocelových konstrukcí pod vodou, které se uskutečnilo počátkem 20. století, až do současnosti, urazila tato technika obrovský kus cesty. První svary, trpící vodíkovým křehnutím, byly nahrazeny kvalitními svary, které jsou jen těžko rozeznatelné od těch vyrobených na souši.

Svařování pod vodou se stává stále více perspektivní oblastí svařování, která bude i nadále zvyšovat svá uplatnění. Hlavní úkol spočívá v zavedení osvěty o metodách svařování pod vodou a v odstranění mýtů, které v současné době o této metodě kolují i mezi odbornou veřejností. Doby, kdy svařování pod vodou produkovalo nekvalitní svary, jsou nenávratně pryč a tak zavedení této technologie svařování do širší praxe již nic nebrání.

Tato práce obsahuje pouze základní informace shrnující problematiku svařování pod vodou, z důvodu omezení rozsahu práce. Čtenářům, kteří by se chtěli o svařování pod vodou dozvědět podrobnější informace, doporučuji odbornou literaturu, jejíž výčet je na následujících stránkách.

Seznam použité literatury

1. KEATS, D. J. *Underwater wet welding : a welder's mate* . Leicester : Matador, 2004. 300 s.
2. BEVERIDGE, H.J.R. *Underwater welding for offshore installations* . Cambridge: Welding Institute, 1977. 129 s.
3. MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování: 2. aktualizované vydání*. Praha: Scientia, 2003. 241 s.
4. KOVAŘÍK, Rudolf; ČERNÝ, František. *Technologie svařování*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 186 s.
5. AMBROŽ, Oldřich, et al. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A ZAŘÍZENÍ*. Ostrava: ZEROSS, 2001. 393 s. ISBN 80-85771-81-0.
6. TWI ltd. *www.twi.co.uk* [online]. 2009 [cit. 2010-03-13]. Underwater welding . Dostupné z WWW: <http://www.twi.co.uk/content/ksdja001.html>
7. TWI ltd. *www.twi.co.uk* [online]. 2009 [cit. 2010-04-13]. How is it that arc welding can be carried out in water?. Dostupné z WWW: <http://www.twi.co.uk/content/faqdja002.html>
8. TWI ltd. *www.twi.co.uk* [online]. 2009 [cit. 2010-04-13]. Can sound welds be made by wet underwater welding?. Dostupné z WWW: <http://www.twi.co.uk/content/faqdja007.html>
9. *www.magnumusa.com* [online]. 2009 [cit. 2010-03-13]. For underwater welding electrodes. Dostupné z WWW: <http://www.magnumusa.com/wetweldingrods.html>
10. PAŠTIKOVÁ, Jana. Svařování a řezání pod vodou - tvrdý oříšek i pro zkušené. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. 18.12.2008, 2004, 6, s. 32-33.
11. HADYNA, Daniel. Svařování pod vodou. *Svět svaru: časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. 2009, 13, 2, s. 22-24. Dostupný také z WWW: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/actual_issue.htm
12. BARTHOLOMEW, C.A. . *U.S. NAVY UNDERWATER CUTTING & WELDING MANUAL*. Philadelphia: COMMANDER, NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND, 1989. 200 s. Dostupné z WWW: http://www.supsalv.org/pdf/cut_weld.pdf

13. KEATS, David J. Underwater wet welding made simple: benefits of. *Underwater technology* [online]. 2009, 28, 3, [cit. 2010-04-16]. Dostupný z WWW: <http://www.specialwelds.com/underwater-welding/index.htm>
14. NIXON, John H. *Underwater repair technology* [online]. Cambridge : Abington Publishing, 2000 [cit. 2010-03-16]. Dostupné z WWW: <http://books.google.cz/books?id=vxHpjdlh23sC&pg=PA31&dq=hyperbaric+welding&cd=1#v=onepage&q=hyperbaric%20welding&f=false>

Seznam obrázků

- obr. 1 rozdělení metod svařování
- obr. 2 schéma zapojení běžného a mokrého způsobu svařování
- obr. 3 schéma svařovacího procesu
- obr. 4 metoda tažením
- obr. 5 metoda kýváním
- obr. 6 metoda step- back
- obr. 7 uspořádání mokrého svařování
- obr. 8 svařovací helma se štítem
- obr. 9 schéma přehradového svařování
- obr. 10 schéma FCAW v aplikaci pod vodou
- obr. 11 habitat