



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝVOJ SVAŘOVÁNÍ VE STAVBĚ LODÍ

PROGRESS OF WELDING IN SHIPBUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÁCLAV URBAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KOVÁŘ

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Václav Urban

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

### **Vývoj svařování ve stavbě lodí**

v anglickém jazyce:

### **Progress of welding in shipbuilding**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vývoj v konstrukci lodí vyžaduje nový přístup ve svařování.

Nové technologie svařování umožňují netradiční řešení.

Laserové svařování se podílí na stavbě trupů i největších zaoceánských lodí.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnotit současný stav ve stavbě lodí a využívaných metod svařování. Literární studií vyhledat pokrokové technologie svařování a analyzovat možnosti využití ve stavbě. Navrhnout možné směry využití.

Seznam odborné literatury:

- 1.DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
- 2.BLAŠČÍK,F. a kol. Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania, 1vyd. ALFA Bratislava 1988, 830s. ISBN 063-563-87
- 3.KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999,249s. ISBN 80-85771-70-5
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kovář

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 3.12.2008

L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Urban Václav: Vývoj svařování ve stavbě lodí

---

Práce se zabývá metodami svařování ve stavbě lodí, shrnuje základní používané metody svařování jako SAW, MAG, MIG, TIG, laser, Laser-Hybrid. Popisuje vlastnosti svařovaných materiálů. Speciálně pak materiály HY80 a HY100. Dále se zabývá přídatnými materiály. Zvláště materiály Spoolarc 95 a 120. Zvláštní důraz je kladen na metodu Laser-Hybrid, její vlastnosti a použití ve stavbě lodí. Na závěr popisuje možnosti svařování hliníku metodou FSW, přípravu svarových ploch a výrobou sandwich panelů.

Klíčová slova:

Svařování, stavba lodí, MIG, MAG, TIG, SAW, laser, Laser-Hybrid, FSW, Spoolarc, HY80, svarová mezera, sandwich panely.

## ABSTRACT

Urban Václav: Progres of welding in shipbuilding

---

This work deals with the methods of welding in shipbuilding, summarises the basic techniques used for welding of the SAW, MAG, MIG, TIG, laser, Laser-Hybrid. It describes the properties of welded material. Especially the materials HY80 and HY100. It follows from the filler materials. In particular materials Spoolarc 95 and 120. Particular emphasis is placed on the method of Laser-Hybrid, its properties and use in shipbuilding. Finally, describes the method of welding aluminium using FSW, preparation of welded surfaces and producing of sandwich panels.

Key words:

Welding, shipbuilding, MIG, MAG, TIG, SAW, laser, Laser-Hybrid, FSW, Spoolarc, HY80, welding gap, sandwich panels.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

URBAN, V. *Vývoj svařování ve stavbě lodí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kovář.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V ..... dne 25.5.2009

.....

Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Petru Kovářovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

ZADÁNÍ .....	3
ABSTRAKT .....	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ .....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH .....	8
<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Základní způsoby svařování používané ve stavbě lodí .....</b>	<b>10</b>
2.1 Technologie svařování pod tavidlem (SAW) .....	10
2.2 Technologie svařování MAG .....	11
2.3 Technologie svařování MIG .....	12
2.4 Technologie svařování TIG .....	13
2.5 Technologie svařování laserem .....	14
2.6 Technologie svařování Laser-Hybrid .....	15
<b>3. Materiály používané pro stavbu lodí .....</b>	<b>17</b>
3.1 Základní oceli používané ve stavbě lodí .....	17
3.1.1 Vlastnosti a složení oceli HY80 .....	18
3.2 Neželezné kovy a slitiny používané ve stavbě lodí .....	19
3.2.1 Zástupci slitin hliníku a jejich složení .....	20
<b>4. Přídavné materiály .....</b>	<b>20</b>
4.1 Základní přídavné materiály používané ve stavbě lodí .....	20
4.1.1 Přídavné materiály Spoolarc 95 a Spoolarc 120 .....	21
4.1.2 Ochranné prostředí použité k materiálům Spoolarc .....	22
<b>5. Porovnání metody Laser-Hybrid vůči metodám MIG/MAG a laser .....</b>	<b>22</b>
5.1 Metody obloukového svařování v ochranné atmosféře v porovnání s metodou Laser-Hybrid.....	22
5.2 Metoda svařování laserem v porovnání s metodou Laser-Hybrid .....	23
5.3 Limit svařování Laser-Hybrid vzhledem k velikosti svarové mezery .....	24
<b>6. Příklady z praxe .....</b>	<b>26</b>
6.1 Možnosti svařování hliníku pomocí tření .....	26
6.2 Příprava úkosů svařovaných materiálů .....	27
6.3 Výroba sandwich (i-core) panelů .....	28
<b>7. Závěr.....</b>	<b>30</b>
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	31

# 1. Úvod

Svařování patří mezi základní způsoby výroby lodí. Jsou stavěny stále větší lodě, pevnější konstrukce a stavitelé se snaží docílit lepších parametrů co do tvarů a praktičnosti tak i celkové váhy konstrukce, která má vliv na efektivitu lodní dopravy. To má za následek, že jsou v dnešní době na výrobce lodí a dodavatele svařovacích strojů kladeny stále větší požadavky ze strany zákazníků.

Svařovací metody mají významný dopad na vlastností a použití materiálů, tedy i na výkonnost a kvalitu produktů. Z těchto důvodů v posledních letech loděnice vynakládají značné úsilí na rozvoj nových spojovacích technik jako je svařování laserem či rozvoj svařování metodou Laser-Hybrid. Toto úsilí je založené na výsledcích výzkumů. Praktické využití pro lodní průmysl byly vyvinuty v nedávné době.

Použití dlouhodobě využívaných metod v kombinaci s moderními metodami svařování pomáhá výrobcům lodí dosahovat stále lepších efektivit výroby a také podporuje současný trend snižování nákladů na výrobu. Následující práce se bude zabývat právě stavem používaných postupů a nastíní možnosti využívání nových metod a poznatků ve stavbě lodí.

## 2. Základní způsoby svařování používané ve stavbě lodí

Ve stavbě lodí je třeba užívat pokud možno co nejefektivnější způsoby svařování. Jelikož se ve většině případů jedná o velké svařované kusy je důležitá rychlost svařování vzhledem k ekonomičnosti výroby. Spoje lodních součástí jsou obecně velmi namáhány jak vlivy silových účinků tak i vlivy okolního prostředí, proto je žádoucí i dobrá jakost spoje. Nejvíce využívanými metodami z těchto důvodů jsou tedy metody využívající ochrannou atmosféru a metody zaručující vysokou rychlost svařování.

### 2.1 Technologie svařování pod tavidlem (SAW)

SAW (Submerged Arc Welding). Jedná se o základní technologicky nenáročnou metodu používanou v loděnicích.

Technologie využívající hořící elektrický oblouk mezi základním spojovaným materiálem a holou elektrodou pod vrstvou tavidla.

Tavidlo je automaticky přisypáváno před svarovou lázeň. Páry a plyny vznikající zahřátím tavidla tvoří ochrannou atmosféru lázně, což způsobuje, že lázeň je chráněna před vlivy vnějšího okolí. Nepropálené tavidlo je dopravováno zpět do zásobníku, kde je připraveno k opětovnému použití.

Přísun tavidla a svařovacího materiálu je plně automatizován.

Jsou používány buď stabilní svařovací hlavy, kde se pohybuje svařovaný materiál nebo svařovací hlavy mobilní, kde se pohybuje svařovací hlava upevněná na vozíku (obr. 2.1), jenž jede po dráze, případně svařovaném materiálu.

Jako přídavné materiály jsou používány plné dráty o průměru 1,6 – 8 mm.



Obr. 2.1 Svařovací traktor Lincoln LT-7 [14]

Metoda je vhodná pro svařování materiálů s tloušťkou nad 3 mm. Je možno svařovat tupé , případně koutové svary ve vodorovné poloze. V průmyslu výstavby lodí je používána především pro svařování lodních trupů a dlouhých plátových částí.

## 2.2 Technologie svařování MAG

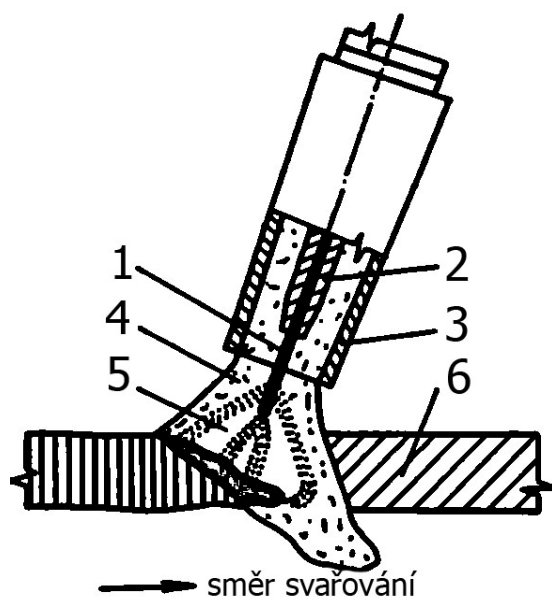
Technologie svařování v ochranné atmosféře. Metal Active Gas (MAG) je jedna z nejrozšířenějších metod svařování vůbec.

Během svařování vzniká elektrický oblouk mezi svařovaným materiálem a elektrodou (obr.2.2) Elektroda je tvořena plným nebo dutým drátem vyplněným přísadovými prvky. Drát je navinut na cívce, která během svařování nepřetržitě dodává materiál do tavné lázně. Nejčastěji používané průměry drátu jsou od 0,8 do 1,6 mm. Jsou však dodávány dráty i o průměru 2,4 mm. Nejčastěji v baleních na cívkách po 15 kg. Klasifikací materiálů a plněných elektrod se zabývají normy ČSN EN 440 a ČSN EN 758.

Oblouk a tavná lázeň je během svařování chráněna proudem aktivních plynů. Tyto plyny mají přímý vliv složení svarového kovu neboť mají oxidační charakter.

Používaná složení plynů:

- $\text{CO}_2$
- $\text{Ar} + \text{CO}_2$
- $\text{Ar} + \text{O}_2$
- $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$
- $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$



- 1 – přídavný materiál, 2 – přívod proudu,
- 3 – tryska ochranného plynu, 4 – ochranný plyn,
- 5 – oblouk, 6 – svařovaný materiál

## Obr. 2.2 Detail svařování metodou MAG. [1]

Svařovací proudy pro tuto metodu se pohybují od 30A pro tenkostěnné závarky až po 800 A u vysokovýkonného svařování.

Rychlost posuvu drátu pro konvenční MAG svařování se pohybuje do 15 m/min. Pro vysokovýkonné metody svařování (Často používané v lodním průmyslu) se rychlost pohybuje v rozmezí 15 – 40 m/min.

Metoda svařování MAG se používá převážně pro výrobu spojení ocelí o vyšší pevnosti, slitinových ocelí apod. Jsou kladeny vyšší nároky na jakost spoje. Svařování lze plně automatizovat pro sériovou výrobu. V lodním průmyslu má metoda velice široké upotřebení.

## 2.3 Technologie svařování MIG

Jedná se o metodu svařování v ochranné atmosféře Metal Inert Gas (MIG).

Podstata metody MIG je shodná s podstatou metody MAG (kap. 2.1).

Na rozdíl od metody MAG, která používá aktivní plyny metoda MIG se vyznačuje použitím výhradně inertních plynů. Tyto plyny chemicky nereagují se svarovou lázní, což zajišťuje minimální propal prvků svarového kovu. Tato vlastnost zališťuje nulový vliv na výsledné chemické složení svařovaného kovu.

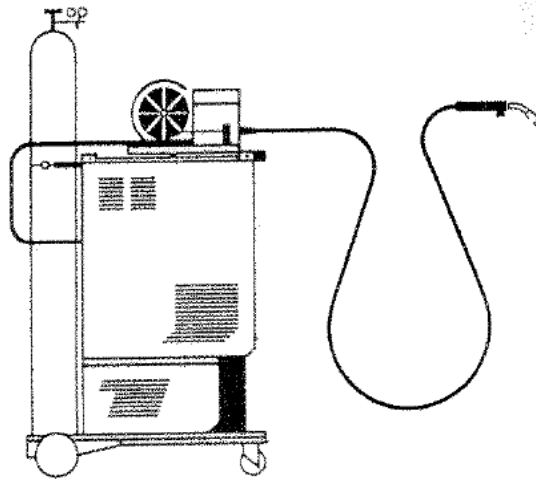
Používané plyny:

- Ar
- He
- Ar + He

Plyny a jejich směsi mají stanovenou čistotu a poměr míchání pomocí normy.

Nevýhodou metody je při svařování slitin železa vyplývající z vysokého povrchového napětí tekutého kovu, že na elektrodě se vytvoří velké kapky. Nedostatečná hloubka závaru, návar je směřován do výšky.

Existují různé variace na sestavu svařovacího zařízení lišící se především v provedení podavačů a pohonů drátu. Základní svařovací sestava je znázorněna na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Klasického uspořádání svařovacího zařízení [2]

Metoda se používá především pro svařování hliníku, slitin hliníku, titanu, popřípadě svařování jiných reaktivních kovů. Využití ve stavbě lodí je tedy omezeno na menší lodě s hliníkovým trupem či výrobu vnitřních nosných panelů, též z hliníku a jeho slitin.

## 2.4 Technologie svařování TIG

Metoda svařování v ochranné atmosféře TIG (Tungsten Inert Gas) též WIG (Wolfram Inert Gas).

Oblouk hoří mezi netavnou wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem. Přídavný materiál je z boku dodáván ručně ve formě drátu nebo automatickým podavačem s proměnnou rychlostí podáváníí(obr. 2.4).

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W nebo legované oxidy kovů – thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y), které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny.[2]

Jako ochranná atmosféra jsou používány netečné plyny o vysoké čistotě. Používané plyny jsou argon a helium nebo jejich směsi. Čistota dodávaných plynů se pro argon pohybuje od 99,995 % a výše, pro helium je dodávána čistota nejméně 99,996 %.



Obr. 2.4 Svařovací hořák WIG s možností nastavování, displejem a integrovaným zařízením pro strojní přísun drátu [9]

Metoda je používána především na svařování hliníku a jeho slitin. Je možno svařovat i slitiny železa, to ovšem není v lodním průmyslu příliš využito.

Nízká účinnost přenosu tepla asi (60 %) a omezené proudové zatížení elektrody jsou příčinou toho, že metoda WIG je málo produktivní.[3]

Výhodou metody je dobrá kvalita svarů. V loděnicích je tato metoda využívána především pro svařování lodí vyrobených z hliníku a jejich částí. Její použití je výhodné například na provaření první kořenové housenky.

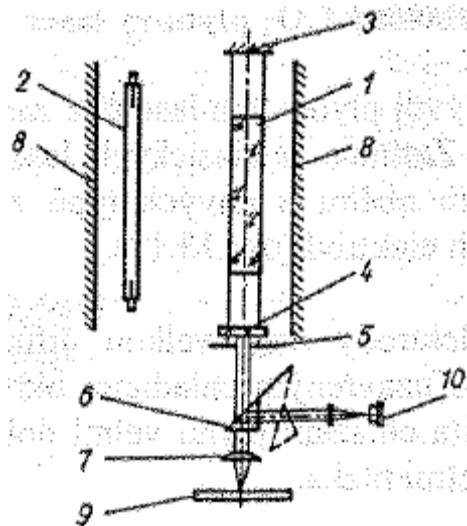
## 2.5 Technologie svařování laserem

Jedná se o speciální způsob tavného svařování. LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) vzniká zesílením světla stimulovanou emisí záření.

Lasery se dělí podle prostředí ve kterém se děje zesílení. Může to být na lasery pracující na pevné fázi (obr.2.5), plynné, polovodičové a fázi kapalné.

Při svařování laserem vzniká kapilára vyplněná parami kovu pod vysokým tlakem. Páry kovu jsou vysokou teplotou ionizovány a tato laserem indukovaná plazma tryská vysokou rychlostí z místa svaru. Plazma brání pronikání fotonů do

svarové spáry, pohlcuje velkou část záření svazku a snižuje hloubku průniku fotonů. Tato plasma se běžně vychyluje ofukováním ochranným plynem Ar, Ar + CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> a nejlepší výsledky vykazuje He. Ochranný plyn současně chrání tavnou lázeň a tuhne svarový kov před oxidací vzdušným kyslíkem. [2]



1- aktivní prostředí (výbrus), 2- výbojka, 3- zrcadlo se 100% odrazivostí, 4- zrcadlo s odrazivostí 80-90%, 5- clona, 6- optický hranol, 7- zaostřovací optika, 8- eliptická reflexní dutina, 9- svařovaný materiál, 10 – pozorovací optika

Obr. 2.5 Schéma pevnolátkového laseru [2]

Druhy pevnolátkových laserů:

- rubín
- neodýmové sklo
- Nd:YAG

Zástupcem laseru pracujícím na plynné fázi je CO<sub>2</sub> laser.

Díky vysoké rychlosti ochlazování způsobené malým vneseným teplem nesmí u ocelí překročit obsah uhlíku 0,2%. Metoda dosahuje výborných výsledků v případech svařování vysokolegovaných kovů a materiálů s vysokou teplotou tavení.

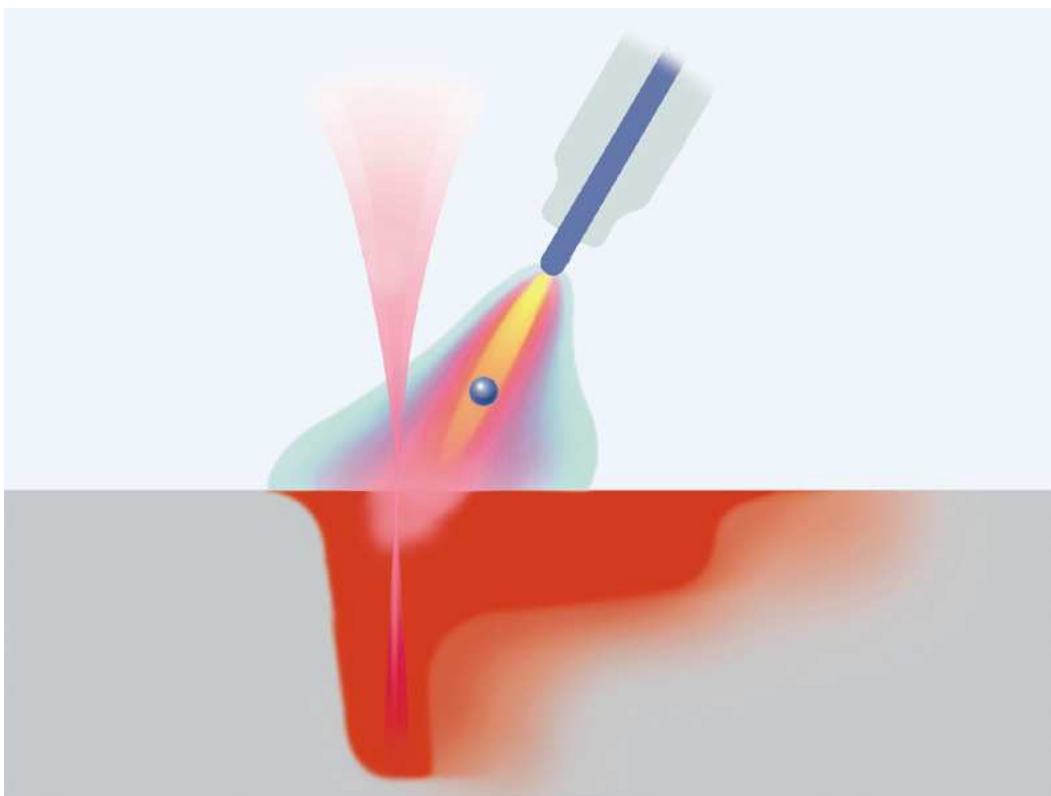
Příprava svarových ploch není v případě laseru zvláště náročná, neboť veškeré nečistoty a mastnoty jsou odpařeny. Je důležité ovšem zachovat optimální mezeru 0,05 až 0,2 mm mezi svarovými materiály. Svařování laserem je v lodním průmyslu se rozvíjející metoda, její upotřebení je například na výrobu sandwich panelů.

## 2.6 Technologie svařování Laser-Hybrid

Jedná se o technologii kombinující technologie laserového tavného svařování a obloukového svařování v ochranné atmosféře MIG/MAG (obr. 2.6).

Jakmile se laserový paprsek dotkne povrchu obrobku, zahřeje příslušnou oblast na vypařovací teplotu. Výsledkem je daleko dosahující sloupec par s požadovaným efektem úzkého a hlubokého závaru. U procesu Laser-Hybrid se potřeba drahé laserové energie omezuje téměř výhradně na tento tak zvaný hlubokozávarový efekt, který dovoluje spojovat i silné plechy. Zbývající část energetické potřeby kryje cenově příznivější MIG/MAG proces, který se svojí odtavující se elektrodou umožňuje dosáhnout lepší přemostitelnosti svarové spáry. Jelikož oba tyto dílčí pracovní postupy soustřeďují svoji energii na jednu procesní zónu, zvětšuje se, oproti použití jen jednoho postupu, velmi značně hloubka závaru i rychlost. Aby bylo možno chránit laserovou optiku před poškozením vyžadují případně vzniklé rozstříky instalaci odrazného ochranného skla. Aby zůstalo samotné ochranné sklo nepoškozené, čisté a průchodné pro laser, je hlava Laser-Hybrid vybavená tak zvanou CrossJet jednotkou. Proud vzduchu zde odvádí při nadzvukové rychlosti svarové odstříky mimořádně efektivně do odsávacího kanálu. Také proud vzduchu je předtím, než se dostane do oblasti svaru odsáván, aby nenarušoval působení ochranného plynu. [9]

Používané plyny ochranné atmosféry se liší podle druhu použitého laseru. Pro plynné CO<sub>2</sub> lasery je nezbytné použití směsi s vysokým obsahem helia. V případě Nd: YAG laseru jsou použitelné aktivní plyny jako argon a směsi Ar, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.



Obr. 2.6 Princip svařování metodou Laser-Hybrid [9]

Metodu Laser-hybrid lze využít pro rozdílné druhy materiálů. Ve stavbě lodí se užívá pro svařování hliníku, jeho slitin a ocelí používaných pro stavbu trupů, nosných koutových spojů a palub. Dosahuje výborných výsledků co do rychlosti výroby a ekonomických nákladů na výrobu. Použití je omezeno výhradně na automatizované, robotické svařovací linky.



Obr. 2.7 Svařovací hlava Laser-Hybrid [9]

## 3. Materiály používané pro stavbu lodí

Pro stavbu lodí se používají rozdílné druhy materiálů, některé z těchto materiálů je výhodné spojovat právě svařováním.

### 3.1 Základní oceli používané ve stavbě lodí

Obecně lze říci, že pro stavbu palub, vnitřních částí konstrukce a hlavně trupů lodí jsou používány legované oceli s nižším obsahem uhlíku. Hlavními přísadovými prvky jsou nikl, chrom a molybden.

Oceli se vyznačují vynikající svařitelností, vrubovou houževnatostí i za provozu při nízkých teplotách a dobrou tvárností i ve svarových profilech.

Podíly přísadových prvků se pohybují v rozmezí:

-nikl < 5,5 %

- chrom < 2,0 %
- molybden < 0,75 %

Vybraní zástupci ocelí používaní pro stavbu lodí jsou oceli s obchodním označením *HY80*, *HY100*, *S235*. Další používané oceli jsou oceli s označením *DMR 249A*, *AK25* případně nemagnetická ocel pod označením *U3* používaná válečným námořnictvem pro výrobu minolovných lodí.

Ocel je dodávána nejčastěji v podobě plátů požadované tloušťky, případně ve formě tvarových profilů. (obr. 2.6) Ty jsou následně rozřezány a podrobeny přípravě ke svařování.



Obr. 3.6 Válcovací trať připravující pláty oceli pro výrobu trupů [8]

### 3.1.1 Vlastnosti a složení oceli HY80

Jedna z nejpoužívanějších ocelí v lodním průmyslu. Její využití je především na stavbu trupů a vnitřních nosných částí konstrukce lodí.

Ocel splňující základní předpoklady pro využití ve stavbě lodí. Jedná se o materiál s vynikající svařitelností a vrubovou houževnatostí. Je zaručena dobrá tvárnost i ve svařovaných částech.

Ocel se vyznačuje nízkým obsahem uhlíku a třemi výraznými přísadovými prvky (nikl, chrom, molybden). Její celkové složení je vidět v tabulce. (tab. 3.1)

Ocel	Specifikace	Ni	Cr	Mo	C	Mn	Si	P	S	Jiné
HY-80	UNS K31820	2,00	1	0,2	max 0,18	0,1	0,15	max 0,015	max 0,008	max0,25 Cu, max 0,03 V, max0,02 Ti
		3,25	1,8	0,6						
HY-100	UNS K32045	2,25	1	0,2	max0,20	0,1	0,15	max 0,015	max 0,008	max0,25 Cu, max 0,03 V, max0,02 Ti
		3,5	1,8	0,6						

Tab. 3.1 Složení ocelí HY-80 a HY-100 (hmotnostní %) [10]

Nejlepších výsledků spojení je dosahováno svařováním pomocí elektrického oblouku. Není vyžadován předeřev s výjimkou těžkých tlustých svarů. Tepelné zpracování po svařování není běžně vyžadováno, avšak pro svary o tloušťce větší jak cca 38mm (1 ½ ") je doporučeno.

### 3.2 Neželezné kovy a slitiny používané ve stavbě lodí

K výrobě lodí je v některých případech výhodné použít neželezné materiály a jejich slitiny, právě díky jejich specifickým vlastnostem jimiž jsou:

- nízká hmotnost
- přípustná pevnost
- dobrá odolnost vůči mořské vodě a okolí

Nejčastěji využívaným materiálem je hliník v kombinaci určitých přísadových prvků. Typickými slitinami hliníku používanými ve svařování lodí jsou řady (ASTM):

5xxx - Slitiny s hlavním podílem magnesia, jejich výhoda je především v dobré odolnosti vůči korozi.

6xxx – Slitiny s hlavním podílem magnesia a křemíku, jejich výhodou je především jejich pevnost.

Tyto materiály jsou relativně dobře svařitelné metodou MIG, případně TIG.

Největším problémem při svařování hliníku a jeho slitin je vznik tenké vrstvy oxidu  $Al_2O_3$ , jenž má vysokou teplotu tání (2050°C) narozdíl od teploty tání hliníku (668°C). Po odstranění vrstvy oxidů vzniká na povrchu okamžitě nová vrstva. Této negativní vlastnosti je třeba předcházet čištěním před svařováním a odstraňováním během svařování. Například použitím střídavého proudu u metody TIG jenž má čistící účinek, spočívá v mechanickém rozrušování tvořícího se oxidu. Pro metodu MIG je použit stejnosměrný nebo pulsní svařovací proud a nepřímá polarita. Jako ochranná atmosféra bývá používán argon o čistotě 99,9

Dalším ne moc častým řešením je použití slitiny mědi a niklu. Jako zástupce z této kategorie lze jmenovat materiál CuNi10Fe1Mn s podílem 90% mědi a 10% niklu.

### 3.2.1 Zástupci slitin hliníku a jejich složení

Jako klasické zástupce slitin hliníku používané pro svařování lze označit slitiny ASTM 5083 (ISO AlMg4,5Mn) a ASTM 6082(ISO AlSi1Mg).

Materiál 5083 bývá používám především na svařování trupů a na svařování vnitřních nosných částí je naopak používán materiál 6082. Jejich složení obsahuje tabulka 3.2.

	5083	6082
Si	0,40	0,7-1,3
Fe	0,40	0,50
Cu	0,10	0,10
Mn	0,40-1,00	0,40-1,00
Mg	4,00-4,90	0,60-1,20
Cr	0,05-0,25	0,25
Zn	0,25	0,20
Ti	0,15	0,10
ostaní	0,15	0,15
Al	zbytek	zbytek

Tab. 3.2 Složení slitin hliníku 5083 a 6082 používaných pro stavbu lodí (hmotnostní %) [11]

## 4. Přídavné materiály

Volba přídavných materiálů je velice důležitým aspektem technologie svařování. Má přímý vliv na kvalitu svaru a svařitelnost materiálu tak důležitou právě ve stavbě lodí.

### 4.1 Základní přídavné materiály používané ve stavbě lodí

Přídavné materiály jsou voleny především s ohledem na složení svařovaných materiálů. Jelikož jsou ve stavbě lodí používány materiály pracující za nízkých teplot. Oceli vyznačující se nízkým obsahem uhlíku max. 0,20 % a hlavním legujícím prvkem niklem, jsou pro svařování těchto nízkouhlíkatých, legovaných ocelí používány především přídavné materiály mající jako základ podobné složení.

Pro svařování v lodním průmyslu jsou používány jak plné tak i duté elektrody s kovovým jádrem.

Používanými zástupci pro svařování lodních konstrukcí jsou například elektrody typu E-10018, E-11018, případně elektrody od firmy ESAB prodávané pod názvem Spoolarc 95 a Spoolarc 120. (Určené pro materiály HY80, HY100. ) (obr. 4.1)



Obr. 4.1 Dodávané balení obloukových tavných drátů [13]

#### 4.1.1 Přídavné materiály Spoolarc 95 a Spoolarc 120

Vhodné přídavné materiály používané pro svařování ocelí HY80 a HY100 jsou elektrody Spoolarc 95, jež je používána především pro svařování materiálu HY-80 a Spoolarc 120 jež lze využít ke svařování pevnějšího materiálu HY-100.

Používané metody pro tyto přídavné materiály jsou metoda svařování pod tavidlem (SAW) a v ochranné aktivní atmosféře (MAG).

Elektroda Spoolarc 95 je dodávána v průměrech od 0,6 mm do 1,3 mm pro pulsový přenos kovu a od 1,6 mm do 4,8 mm pro sprchový přenos kovu.

Elektroda Spoolarc 120 je dodávána v průměrech od 0,6 mm do 1,3 mm pro pulsový přenos kovu.

Chemické složení je na tab. 4.1

	Spoolarc 95	Spoolarc 120
C	0,07	0,07
Mn	1,40	1,30
Si	0,35	0,35
Mo	0,35	0,45
Cr	0,20	0,40
Ni	1,80	2,60

Tab. 4.1 Chemické složení pro čistý svarový kov přídatných materiálů Spoolarc 95 a Spoolarc 120 [13]

#### 4.1.2 Ochranné prostředí použité k materiálům Spoolarc

Metoda:

MAG – Pro svařování v ochranné atmosféře je nutno použít aktivních plynů Ar, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Dobrých výsledků je dosaženo užitím směsi 98% Ar +2 %O<sub>2</sub>.

SAW – Pro svařování pod tavidlem jsou firmou ESAB doporučeny tavidla OK Flux 10.62, případně Unionmelt 709-5 a Unionmelt 656.

## 5. Porovnání metody Laser-Hybrid vůči metodám MAG/MIG a laser

Svařovací metoda Laser-Hybrid začala být v poslední době využívána a preferována v některých loděnicích. Například v německých loděnicích firmy Meyer Werft.

### 5.1 Metody obloukového svařování v ochranné atmosféře v porovnání s metodou Laser-Hybrid

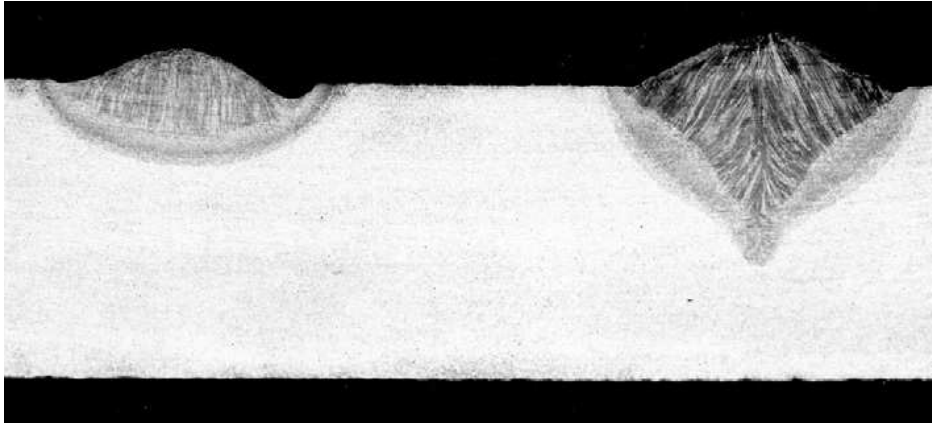
Charakteristickými kladnými znaky obloukového svařování v ochranné atmosféře jsou:

- Nízké náklady na zdroj energie
- Schopnost překlenutí propasti
- Přidávání materiálu
- Vliv struktury

Metodou svařování Laser-Hybrid je dosahováno lepších hodnot vůči obloukovým metodám v následujících parametrech:

- Rychlost svařování
- Hlubší provaření sváru
- Nižší vstupující teplo

Porovnání návarů zhotovených metodou Laser-Hybrid a metodou obloukového svařování v ochranné atmosféře je na obr. 5.1 .



Obr. 5.1 Příčný výbrus návaru zhotoveného obloukovou metodou (vlevo) a metodou Laser-Hybrid (vpravo) [5]

Parametry pro svary na obrázku 5.1 jsou následující:

Tloušťka plechu : 8mm  
Typ laseru: Nd:YAG  
Výkon laseru: ~4kW  
Rychlost svařování: 2 m/min

Komentář k obrázku 5.1:

Díky použití laserového paprsku se hloubka svařování zvětšuje z 1,5 mm na 5,1 mm. Tvar horní části svaru je též kvalitnější u metody Laser-Hybrid.

## 5.2 Metoda svařování laserem v porovnání s metodou svařování Laser-Hybrid

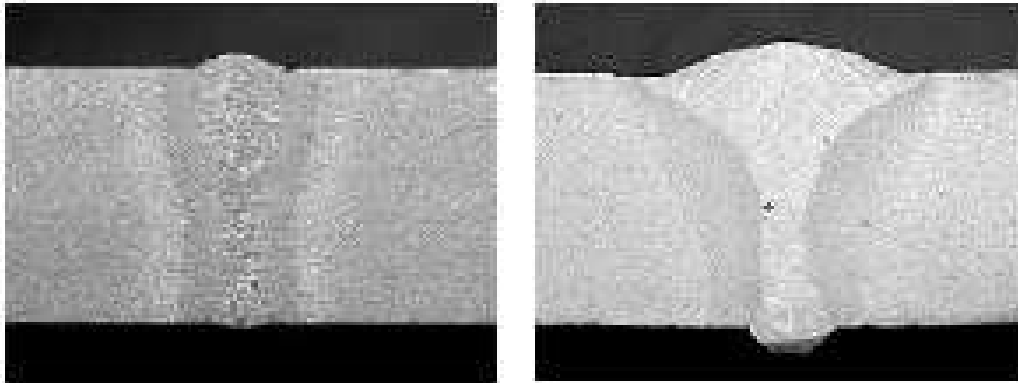
Charakteristickými kladnými znaky svařování laserem jsou :

- Dobré provaření do hloubky
- Vysoká svařovací rychlost
- Nízké vstupující teplo

Metodou svařování Laser-Hybrid je dosahováno lepších hodnot vůči metodě svařování laserem v následujících parametrech:

- Schopnost překlenutí svarové mezery
- Rychlost svařování
- Větší provaření

Porovnání svarů zhotovených metodou Laser-Hybrid a metodou svařování laserem je na obr. 5.2 .



Obr. 5.2 Příčný výbrus I svaru zhotovený metodou svařování laserem (vlevo) a metodou Laser-Hybrid (vpravo)[5]

Parametry pro svary na obrázku 5.2 jsou následující:

Tloušťka plechu: 5,1 mm

Typ laseru: Nd:YAG

Výkon laseru: ~4 kW

Ochranná atmosféra: 90% Ar / 10% CO<sub>2</sub>

Rychlost svařování: laser - 1,1 m/min

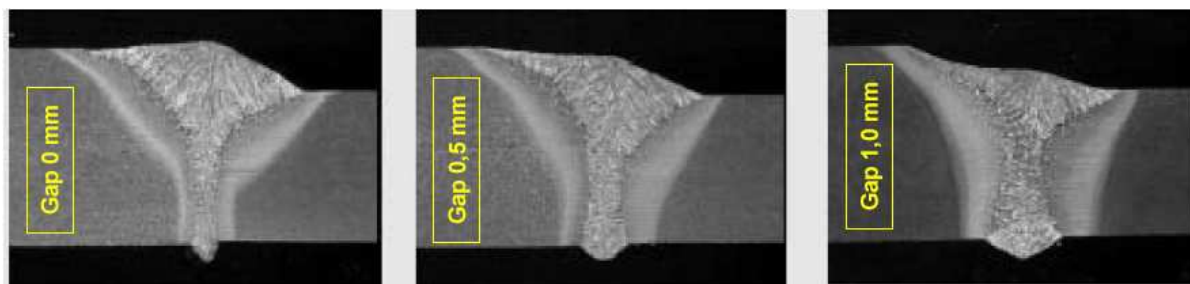
Laser-Hybrid – 2,5 m/min

Komentář k obrázku 5.2:

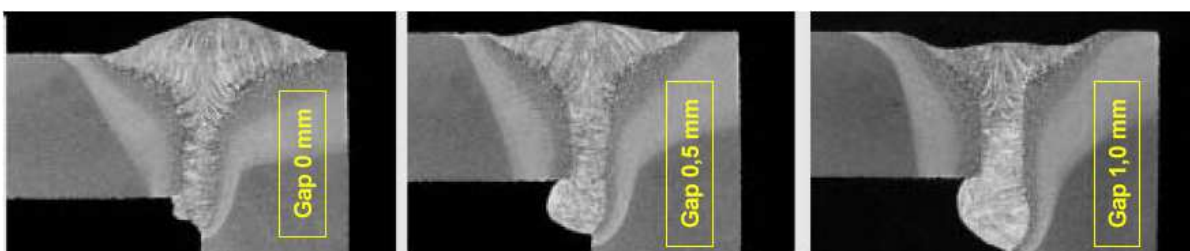
I přes vysokou svařovací rychlost je kvalita horní části svaru pro Laser-Hybrid dobrá. Elektrický oblouk metody Laser-Hybrid má výborný vliv na překlenutí svarové mezery na rozdíl od svařování čistým laserem.

### 5.3 Limit svařování Laser-Hybrid vzhledem k velikosti svarové mezery

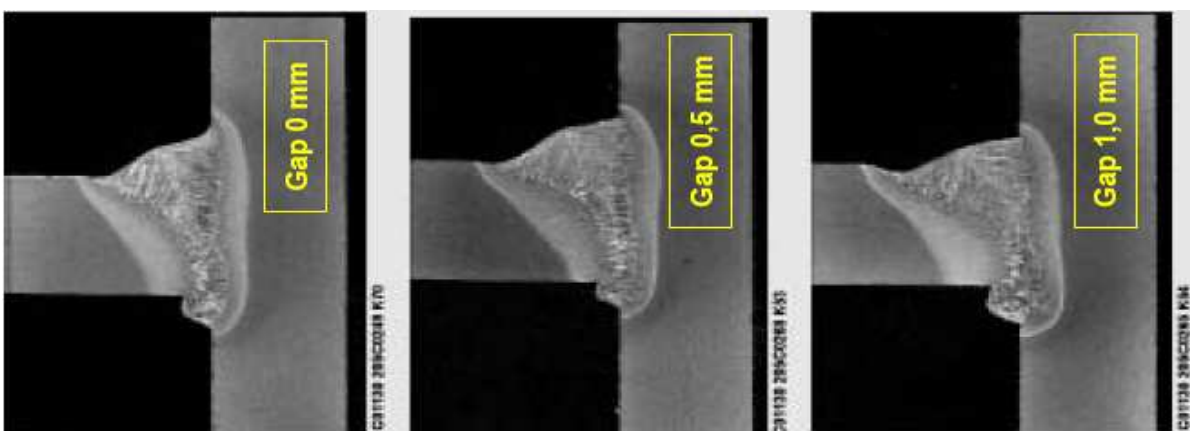
Jak už bylo popsáno výše metoda Laser-Hybrid má na rozdíl od konvenčního laseru výbornou schopnost překlenout svarovou mezeru způsobenou rozměrovými odchylkami při přípravě spojovacích materiálů. Maximální mezera mezi materiály pro svařování laserem je stanovena cca 0,2 mm. Pro svařování metodou Laser-Hybrid může být tato odchylka několikanásobně vyšší.



Obr. 5.3 Příčný průřez tupého I svaru pro rozdílné svarové mezery mezi materiály (metoda Laser-Hybrid) [7]



Obr. 5.4 Příčný průřez rohového svaru pro rozdílné svarové mezery mezi materiály (metoda Laser-Hybrid) [7]



Obr. 5.5 Příčný průřez jednostranného koutového svaru pro rozdílné svarové mezery mezi materiály (metoda Laser-Hybrid) [7]

Z obrázků 5.3, 5.4, 5.5 je patrný propad svaru pro mezeru mezi materiály s hodnotou 1 mm. Obzvláště je toto patrné na obrázcích pro koutový a rohový svar. Firma Schuler Held ve svých pokladech stanovila jako limit svarové mezery mezi svařovanými materiály 0,8 mm. Tedy:

Velikost svarové mezery < 0,8 mm

Tato metoda výborně aplikovatelná v těžkém lodním průmyslu. Hlavními přednostmi metody Laser-Hybrid jsou především: lepší mechanické vlastnosti spojů, vyšší únavový limit, zvýšená houževnatost, lepší svařitelnost vysokopevnostních ocelí, menší tepelně ovlivněná oblast, vyšší produktivita spojená s vysokou svařovací rychlostí a provařitelností do hloubky, nižší podíl zplošťovacích či rovnacích prací.

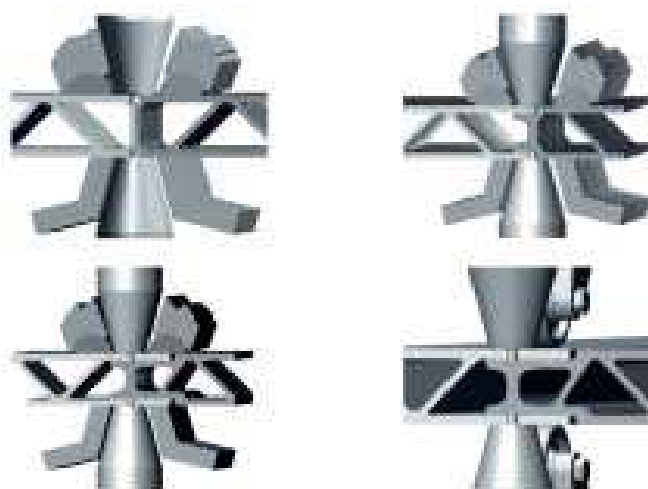
## 6. Příklady z praxe

Pro zvyšování efektivity výroby a kvality konstrukce lodí jsou nebo v budoucnu budou používány nové postupy či technologie výroby. Jelikož je svařování a svařitelnost důležitou složkou výroby lodí, má právě svařování vliv na limity a parametry, kam až může konstruktér ve svých návrzích zajít.

### 6.1 Možnosti svařování hliníku pomocí tření

Metoda využívající teplo vzniklé třením ke svařování, tzv. FSW tedy Friction Stir Welding umožňuje použití tříd slitin hliníku, které byly dřív považovány za nesvařitelné. Metoda třecího svařování též umožňuje výrobu z přesných prefabrikovaných dílů.

Po svařování nenásledují žádné další úpravy jako je broušení, leštění či rovnání. (obr.6.2) Po svařování je panel hotový a připravený k použití. Na to má ovšem přímý vliv návrh použitého uspořádání svařovací hlavy jak je patrné z obr. 6.1. Nevýhodou metody je, že ne každý návrh vhodný pro MIG a TIG je vhodný i pro třecí svařování. Největší překážkou je poměrně velká síla vyvozená svařovací hlavou a tlačící do svařovaných částí.



Obr. 6.1 Možnosti uspořádání svařovací hlavy [6]

Metoda FSW umožňuje svařovat slitiny hliníku z kategorie 2xxx jenž mají jako hlavní přísadový prvek měď, případně z kategorie 7xxx jenž mají jako hlavní přísadový prvek zinek. Tyto materiály nejsou v lodním průmyslu příliš používané z důvodu špatné svařitelnosti, přestože například materiál AlCu4SiMg (AA2014) má podobné pevnostní charakteristiky jako ocel S235.

Možné využití je například na výrobu podlah, které díky tomu při stejné pevnosti mohou vážit ještě méně, než kdyby byly vyrobeny ze slitiny kategorie 6xxx.

Firma Esab dodává řadu svařovacích strojů *LEGIO™*. Řady 1 až 7. Tyto stroje jsou schopny svařovat materiály řad 2xxx a 7xxx od tloušťky 1,5 mm do tloušťky 7mm. Zatěžující síla se řádově pohybuje v rozmezí 6 kN pro tenké svary po 200 kN pro svařování tlustých plechů.



Obr. 6.2 Kontrola rovinnosti svařovaného panelu [6]

## 6.2 Příprava úkosů svařovaných materiálů

Nedílnou součástí svařování je i příprava svařovaných ploch.

Pro svařování středně a tlustostěnných plátů je potřebná předsvařovací příprava srážení hran. Svařované plochy nabývají tvarů: V, Y, X nebo K. Tyto tvary ovlivňuje metoda svařování, použití a tloušťka materiálu.

Při svařování je velice důležitý uhel řezu a kvalita řezu. Nejvíce je však důležitá rovinnost řezu. Jestliže není dostatečně rovná vzniknou rozdílné svarové mezery a tím vzroste pravděpodobnost nepřijatelných svarových defektů. Nehledě na to, že se zvyšuje objem svaru a tím i množství přídavného materiálu. [12]

Jednou z prvních používaných metod řezání je řezání plamenem, tato metoda byla následně doplněna o metody řezání laserem a plasmou.

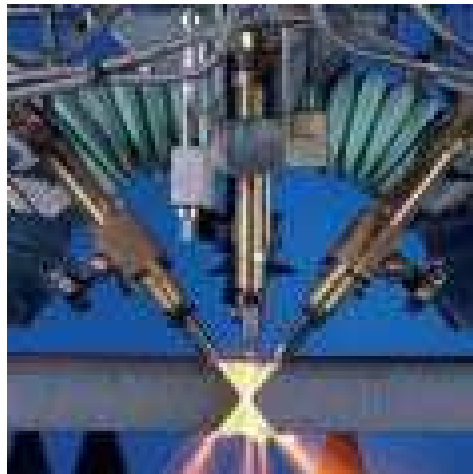


Obr. 6.3 K-tvar, uhel sražení 20°-45°, tloušťka plátu 20-75 mm [6]

Cílem výrobce je vyrobit daný tvar na co nejmenší počet operací. To je zajištěno svařovací hlavou se třemi stavitelnými hořáky. (obr. 6.3).

Obecně se rozmezí upravovaných tloušťek plechů pohybuje v rozmezí 10 mm až 75 mm. To je dáno limity technologií řezání.

Firma Esab dodává stroje jak manuálně řízené a nastavitelné, vhodné především pro výrobu rovných úkosů, tak i stroje číslicově ovládané, jenž lze využít i pro přípravu křivkových sražení hran. (Obr. 6.4)



Obr. 6.4 Numericky nastavitelná hlava, uhel rozsahu 20°-49° [6]

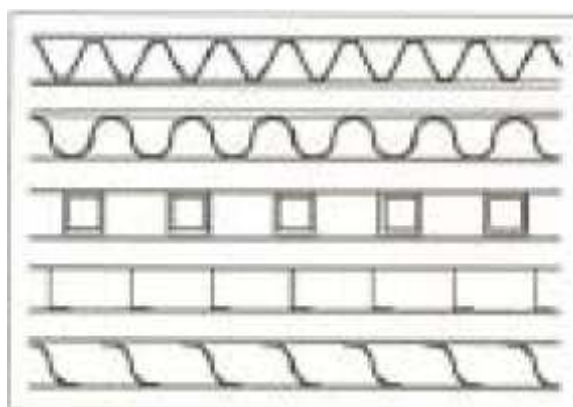
### 6.3 Výroba sandwich (i-core) panelů

Již od pradávna řeší konstruktéři lodí problémy spojené s vahou lodní konstrukce. Tyto problémy se dají řešit vhodnou změnou materiálu za lehčí nebo vhodným návrhem tak, aby při zachované tuhosti a pevnosti konstrukce bylo dosaženo určitých úspor na hmotnosti.

Jedním z možných řešení je ve stavbě lodi použít sandwich panely. Tyto panely se vyznačují právě dobrou tuhostí a pevností a přitom je patrna určitá úspora hmotnosti. Mohou ušetřit 30-50 % hmotnosti konstrukce.

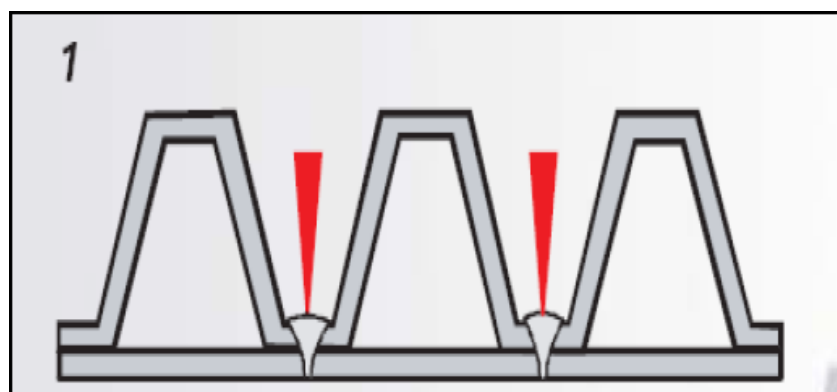
Sandwich panely se využívají především pro stavbu sekundárních struktur konstrukce lodi, tedy hlavně na výrobu podlaží a palub.

Průřezy vyráběných profilů mohou nabývat různých tvarů jak je přímo patrné z obr. 6.5.

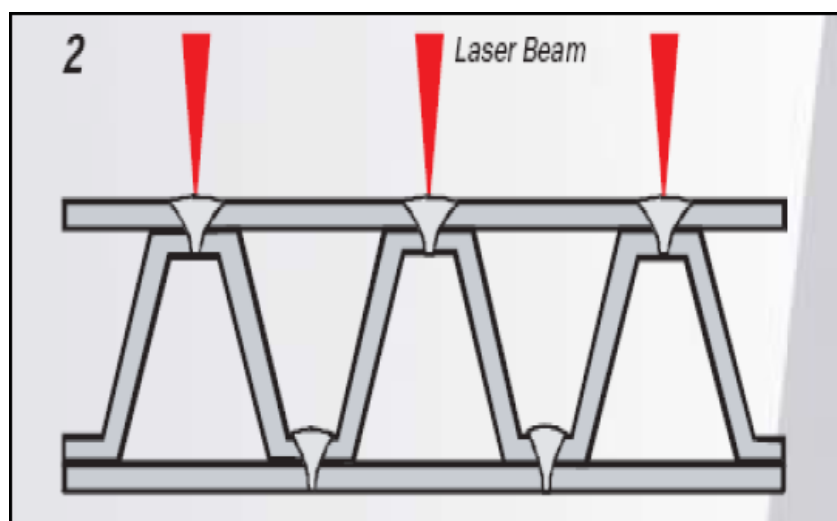


Obr. 6.5 Průřezy profilů používané firmou Mayer Werft [7]

Ocelové sandwich panely bývají vyráběny metodou svařování laserem. Po svaření spodní vrstvy panelu (obr.6.6), je při zachování směru paprsku přivařena vrstva svrchní (obr.6.7).



Obr. 6.6 Krok první, svaření spodní části panelu [7]



Obr. 6.7 Krok druhý, přivaření svrchní části panelu [7]

## 7. Závěr

V bakalářské práci byly shrnuty nejčastěji používané metody svařování pro stavbu lodí, tak i nové perspektivní metody svařování jako je použití metody Laser-Hybrid a možnosti svařování hliníku pomocí tření. Okrajově byla rozebrána příprava úkosů pro svařování středně a tlustostěnných plechů, které jsou základním kamenem stavby lodí. Nastíněn způsob výroby sandwich panelů pomocí svařování laserem, jenž se za poslední roky staly oblíbenou součástí pro výrobu sekundárních struktur konstrukce lodí. Dále byly rozebrány hlavní vlastnosti a složení jak používaných materiálů ve stavbě lodí tak i přídavných materiálů.

Metoda svařování SAW je v lodním průmyslu nejčastěji používána pro výrobu dlouhých svarů tlustostěnných plátů, kde je potřeba dodat velké množství přídavného materiálu.

Pro svařování hliníkových slitin jsou využívány metody TIG a MIG. Předností metody TIG je schopnost vytvořit kvalitní čistý svar, bohužel není příliš produktivní což ji v objemech svařování pro lodní průmysl neřadí na první místo. Její využití je například na první provaření kořenu.

Porovnáním metody Laser-Hybrid s metodami MIG/MAG a metodou svařování laserem byly shrnuty základní přednosti této metody, tedy vysoká produktivita práce spojená s rychlostí svařování a schopností závaru do hloubky, výborná geometrie svaru a malá tepelně ovlivněná oblast, což má vliv na mechanické vlastnosti svaru. Další ne nepodstatnou výhodou této metody je dobrá schopnost překlenutí svarové mezery. Lze dosáhnout překlenutí cca až čtyřikrát většího než v případě metody svařování čistě laserem. Jako limit svařovací mezery byl stanoven rozměr 0,8 mm. Tyto vlastnosti předurčují, aby zmíněná metoda nahrazovala svařování laserem z důvodu snadnější přípravy svarových ploch. Její možné dobré využití by mohlo být právě na výrobu sandwich panelů. Podstatnou výhodou metody je i schopnost provaření koutového svaru na jednu výrobní operaci na rozdíl od často používaného svařování metodou MAG, která na výrobu koutového svaru potřebuje dvě výrobní operace, z každé strany jednu.

Metoda Laser-Hybrid zatím není u nás moc rozšířena. Jednou z prvních firem, která ji začala využívat v lodním průmyslu je německá loděnice Meyer Werft. Její další rozšiřování je velice pravděpodobné.

# SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KŘÍŽ, R. *Strojírenská příručka svazek 8*. 1. vydání. Praha : SCIENTIA, 1998. 251 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [2] Ambrož, Oldřich, Kandus, Bohumil, Kubiček, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: ZEROSS, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] DVOŘÁK, M. a kol. *Technologie II*, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
- [5] JASNAU, Ulf, et al. Nd:YAG – Laser – GMA – Hybrid Welding. In TZYH-JONG, Tarn, et al. *Robotic Welding, Intelligence and Automation*. 2004th edition. [s.l.] : Springer, 2004. s. 14-24. Dostupný z WWW: <www.springer.com>. ISBN 978-3-540-208.
- [6] *Svetsaren : The ESAB Welding and Cutting Journal*. 1936- , journal 1, no. 1- . Vydání 2003/1, 2000/2. Dostupný z WWW: <www.esab.com>.
- [7] Moeller, Rarlif. *ShipTech 2004: Laser Technologi for Shipbuilding*, Schuler Held, 2004. 46s.
- [8] Directorate of Naval Architecture. *Indian Navy* [online]. 2008 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <http://indiannavy.nic.in/>.
- [9] *FRONIUS Česká republika* [online]. 2008-2009 [cit. 2009-04-27]. Dostupný z WWW: <www.fronius.cz>.
- [10] Low-Alloy Ferritic Steels. [online] [cit. 2009-4-27] Dostupný z: <http://www.ca.sandia.gov/matlsTechRef>
- [11] *CAPALEX : Capital Aluminium Extrusions* [online]. 2006 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.capalex.co.uk/alloy\_types.html>.
- [12] *Metal Suppliers Online* [online]. 1995-2001 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.suppliersonline.com/default.asp>.
- [13] *ESAB : Welding & Cutting* [online]. 2009 [cit. 2009-01-11]. Dostupný z WWW: <www.esab.com>.
- [14] *Svařovací traktory LT7* [online]. 2009 [cit. 2009-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.czweld.cz/z\_lt7.htm>.
- [15] *Meyer Werft* [online]. [2009] [cit. 2009-02-13]. Dostupný z WWW: <www.meyerwerft.de>.
- [16] *SCHULER* [online]. [2009] [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <www.schulergroup.com>.