

TECHNOLÓGIE ZVÁRANIA LODNÝCH TRUPOV A METÓDY AUTOMATIZÁCIE V LODENICIACH

WELDING TECHNOLOGY OF THE SHIP HULLS AND AUTOMATION METHODS IN SHIPYARDS

Martin Jurkovič¹, Tomáš Kalina²

Anotace: Analýza najčastejších zvaracích technológií a technologických postupov používaných pri zvaraní lodných trupov v súčasnosti. Charakteristika zvaracích technológií využívaných pri stavbe lodí, kvalitatívne a kvalifikačné požiadavky na zvaranie v lodeniciach. Identifikácia nových trendov v oblasti zvaracích technológií používaných pri stavbe lodí.

Klíčová slova: lodný trup, zvaracia technológia, zvaranie

Summary: Analysis of the most common welding technologies and technological procedures used by welding of the ship hulls. Characteristics of welding technologies used in shipbuilding industries, quality and qualification requirements for welding in shipyards. Identification of new trends in welding technology used in shipbuilding.

Key words: ship hull, welding technology, welding

ÚVOD

Vo svete s predimenzovanou a stále sa rozvíjajúcou dopravnou infraštruktúrou, predovšetkým cestnou, je strategicky nevyhnutné zamerať sa na rozvoj menej využívanej, ekologickejšej formy, ktorej dopady na životné prostredie sú minimálne. Na vodnú dopravu. Na jej využívanie sú potrebné plavidlá, pomocou ktorých je možné ju vykonávať.

Základom každého plavidla je lodný trup. Na jeho zhotovenie je potrebné pospájať množstvo dielcov na sformovanie. Spájanie sa robí vhodnými zvaracími technológiami v závislosti od konkrétnych nárokov a požiadaviek, ktoré sú v jednotlivých lodných sekciách rôzne. Celý zvarací proces musí byť v súlade s požiadavkami lodných registrov.

Zvaranie je technologický proces, ktorý sa využíva takmer v celom priemyselnom odvetví. Lodiarska výroba nie je výnimkou. Existuje množstvo zvaracích technológií, ktoré sa líšia v závislosti od charakteru ich využitia a použitia na konkrétne účely. Vhodnou voľbou zvaracej metódy zaručíme požadovanú kvalitu v závislosti od nárokov. Pri stavbe lode je nutné enormné množstvo zvaracích úkonov, čo v konečnom dôsledku dáva lodí jej konečný tvar. Stavebný proces lodného trupu je kontinuálny proces zvaracích operácií, ktoré na seba

¹ Ing. Martin Jurkovič, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra vodnej dopravy, Univerzitná 1, 01026 Žilina, Tel.: +421 41 513 3554, E-mail: martin.jurkovic@fpedas.uniza.sk

² Ing. Tomáš Kalina, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra vodnej dopravy, Univerzitná 1, 01026 Žilina, Tel.: +421 41 513 3554, E-mail: tomas.kalina@fpedas.uniza.sk

nadväzujú a je nevyhnutné ho dodržať. Sú veľmi náročné na ľudský faktor – zvaračov. Je dôležité v čo najväčšej miere dosiahnuť automatizáciu procesu. Nutnosť automatizácie bola podnetom aj pre svetové firmy v oblasti vývoja nových zvaracích technológií, ktoré prichádzajú v súčasnosti na trh so stále zlepšujúcimi sa zvaracími robotickými linkami využívanými už aj v lodiarstve.

1. CHARAKTERISTIKA SÚČASNÝCH TECHNOLOGIÍ ZVÁRANIA LODNÝCH TRUPOV

Zváranie lodných trupov, ich jednotlivých častí a súčastí musí byť v súlade s predpismi klasifikačných spoločností (najčastejšie s predpismi GL - Germanischer Lloyd, nezávislá organizácia). Tvarové a rozmerové odchylky jednotlivých zvarov a celkové odchylky lodného telesa vrátane miestnych a celkových deformácií musia byť v súlade s výrobnými štandardmi lodného staviteľstva. V prípade predpisov GL je to „Výrobný štandard nemeckého lodného staviteľstva“. Na zváranie jednotlivých lodných sekcií, podsekcií, boksekcií a zostáv sa používajú rôzne zvaracie technológie. Výber vhodnej technológie závisí od charakteru zvaraných častí a od požadovaných kvalitatívnych parametrov na zvarový spoj, ktoré je nevyhnutné dodržať.

1.1 Ručné zváranie obalenými elektródami

Na zváranie jednotlivých lodných sekcií, podsekcií, boksekcií a zostáv sa používajú rôzne zvaracie technológie. Ručné zváranie je výhodné najmä pre svoju mobilitu. Používa sa na ťažšie dostupných miestach, kde nie je možné použiť automatizovaný proces zvárania.

1.2 Zváranie pod ochrannou atmosférou CO₂

Najčastejšie využitie nachádza pri zváraní kútových zvarov výstužnej konštrukcie medzi sebou a plátom, pri zváraní uzlov, silov a krytov nákladových priestorov, pri zváraní podobných konštrukčných elementov, pri zváraní koreňa tupých spojov objemových sekcií (čeleň, korma). Modifikácia metódy s použitím rúrkového drôtu sa využíva pri zváraní stykov a medzistýkov stola a výstuhy stola silu ako aj pri zváraní kontajnerových pätiiek druhého dna.

1.3 Zváranie pod tavivom

Tento proces je používaný pri zváraní plátov a polplátov. Vytypované pláty sa po zavarení na zariadení FRO (plnoautomatické zvaracie zariadenie) okontúrujú na zariadení SOITAAB (zvaracie a rezacie zariadenie, operatívnejšie k požiadavkám zákazníka, uľahčujúce pracovný proces s vysokými bezpečnostnými prvkami). Ostávajúce pláty alebo polpláty sú nakoniec medzi sebou obojstranne zavarené zvaracími traktormi.



Obr. 1 - Zvárací a rezací portál SOITAAB s kapacitou 2000 x 2000 x 5000 (mm)
Zdroj: http://www.soitaab.com/eng/mainindex_eng.html

1.4 Zváranie a spájkovanie plameňom

Táto technológia sa používa pri vyhotovovaní potrubných vetiev v dielni ale aj pri spájaní týchto vetiev priamo pri montáži.

2. PRÍPRAVA ZVAROVÝCH PLÔCH

Pred každým zváracím procesom sa musia jednotlivé plochy pripraviť tak, aby vyhovovali požiadavkám:

- PN 006805** – Typové úpravy hrán pred zváraním pre atypické zvarové spoje,
- STN EN 29692 (050025)** – „Príprava zvarových plôch ocelí“.

Jednotlivé hrany plechov alebo rúr potrubných vetiev sú pred zváraním upravené pálením na stroji, brúsením, hobľovaním, strihaním prípadne ručným pálením a brúsením. Zvarové plochy musia byť pred zváraním kovovo čisté, čo je možné v prípade potreby dosiahnuť ručným brúsením, prípadne otryskávaním alebo odmastením. Pri zváraní pod tavivom na FRO je nevyhnutné odstrániť dočasný náter z povrchu v šírke cca 15 mm od stredu zvarových plôch na obidve strany ručným brúsením.

3. SPÔSOBY VYHOTOVENIA JEDNOTLIVÝCH ZVAROVÝCH SPOJOV

Pre dôležité sekcie, podsekcie a vybrané uzly sú vypracované typové schémy pre zváranie, ktoré udávajú poradie a postup vyhotovenia jednotlivých zvarových spojov. Pre kontrolu zvarových spojov RTG metódou sú vypracované schémy skúšky prežiarení. Pri objemových sekciách (čeleň, korma), kde rámové priečky a obyčajné rebrá vytvárajú uhol 15° a viac, je potrebné zohľadniť „1/2V“ profil a kútový zvar.

4. KVALIFIKÁCIA ZVÁRAČOV

Podľa normy STN EN GL 287-1 zvaračské práce na objekte môžu vykonávať len zvarači s platnou kvalifikáciou podľa uvedenej normy.

5. KONTROLA ZVAROV

Vizuálnou kontrolou sa kontrolujú kútové spoje, dimenzia zvarov sa kontroluje so špeciálnym posuvným meradlom. RTG kontrola je vykonávaná po dokončení zvaračských a zrovnávacích prác. Vytypované zvary môžu byť kontrolované ultrazvukovou metódou, alebo podľa požiadaviek uvedených v konštrukčnej dokumentácii. Kvalita zvarových spojov sa vyhodnocuje podľa smernice STN EN 25 817 – „Smernica na určovanie stupňov akostí“ pre stredný stupeň akosti „C“.

6. POSTUPY ZVÁRANIA JEDNOTLIVÝCH LODNÝCH SEKCIÍ

6.1 Zváranie uzlov

Pri zváraní uzlov sa musí na plechy pristehovať výstužná konštrukcia. Zváranie sa pre polohy vhodné pre poloautomatické zváranie vykonáva poloautomaticky pod ochrannou atmosférou, pre nevhodné polohy alebo polohy neprístupné sa používa ručné zváranie obalenými elektródami.

6.2 Zváranie bočných sekcií

Zváranie plátov vonkajšieho a vnútorného boku sa vykonáva na zariadení FRO a okontúrovanie na zariadení SOITAAB. Výstupy pozdĺžneho a priečneho smeru vrátane pochôdzkovej paluby treba „ustaviť“ (nastaviť do správnej polohy), navzájom zostehovať a zvariť poloautomatom pod ochrannou atmosférou drôtom plného prierezu. Po zavarení treba výstužnú konštrukciu vyrovnať. Silu nákladového priestoru a plát vnútorného boku treba ustaviť a pristehovať. Celú sekciu treba následne uložiť na vnútorný bok a privariť ručne výstužnú konštrukciu k plátu vonkajšieho boku (zvary zo strany otvoreného priestoru možno vyhotoviť pod CO₂). Bočnopalubná sekcia sa vyrovnáva plameňom.

6.3 Zváranie zostavy silu nákladového priestoru

Plát stojiny silu, stola silu, pozdĺžnej výstupy stola silu, pozdĺžnej výstupy (hlavičkár, „U“ profil) a zvislé výstupy stojiny silu sa zostehujú a nakreslia sa sieťky výstužnej konštrukcie. Pred zváraním treba vystužiť „I“ profil pristehovaný na stôl silu technologickými výstuhami a zvarové spoje vyhotoviť poloautomatom v ochrannej atmosfére drôtom plného prierezu. Zvarový spoj stojiny zo strany výstužnej konštrukcie sa vyhotovuje ručne elektródami a koreň zvaru z druhej strany (zo strany nákladového priestoru) sa vybrusuje. Nakoniec sa vyhotovuje pozdĺžny spoj medzi plechmi stojiny silu zo strany nákladového priestoru zvaračmi traktormi automatom pod tavivom. Rovnanie zostavy sa vykonáva plameňom. Konce výstuh zo strany prídavku na montáž sa nezvárajú v dĺžke 300 mm.

6.4 Zváranie dnovej sekcie

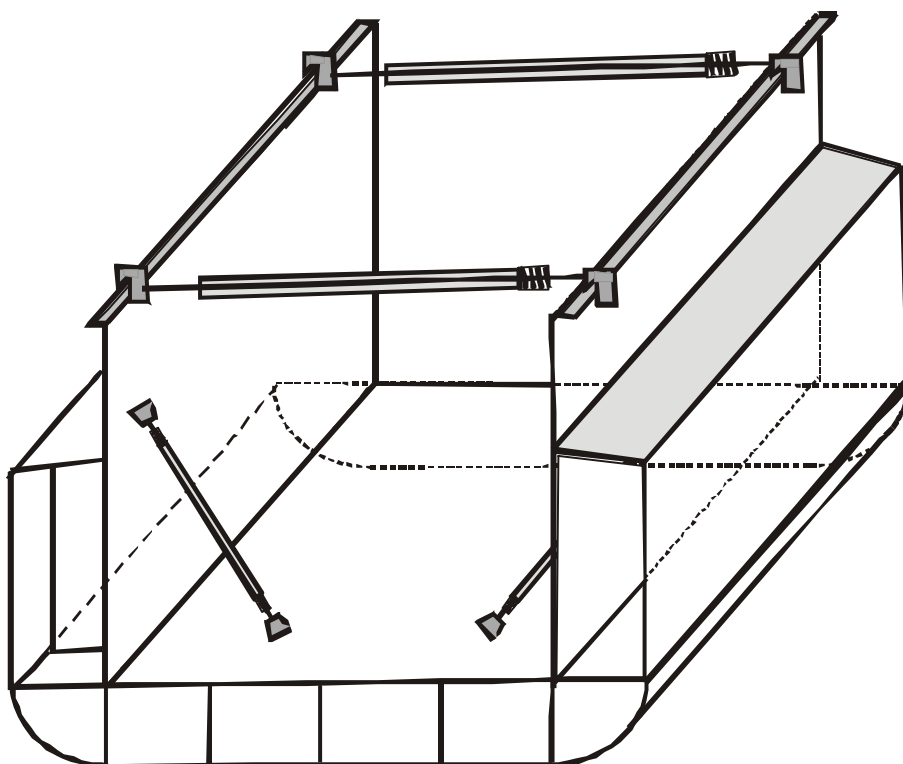
Na technologickej linke FRO – SOITAAB sa vyhotovia polpláty prvého a druhého dna s prídavkom na zmrštenie TPZ 5 mm na šírku polplátu. Na zariadení SOITAAB sa tieto pláty okontúrujú. Polpláty prvého a druhého dna sa ustavia k sebe a zavaria zváracími automatmi pod tavivom. Jednotlivé prvky pozdĺžnej a priečnej výstužnej konštrukcie sa ustavia na zvarení plát druhého dna, pričom zváranie sa vykoná poloautomaticky pod ochrannou atmosférou drôtom plného prierezu. Po zváraní sa vykonáva rovnanie výstužnej konštrukcie na pracovisku rovnania. Prvky nízkej výstuže prvého dna sa potom pristehujú k vysokej výstuži vrátane výstužných plocháčov a spoje sa zavaria poloautomaticky v ochrannej atmosfére drôtom plného prierezu, zvary umiestnené v nevhodných polohách sa dovaria ručne obalenými elektródami. Následne sa vykoná rovnanie výstužnej konštrukcie. Zvarená dnová sekcia sa otočí mostovým žeriavom, ustaví sa plát prvého dna, pristehuje sa a zavará sa ručne obalenou elektródou. Celá sekcia sa nakoniec vyrovná plameňom.

6.5 Zváranie palubných podsekcí

Zváranie palubných plechov medzi sebou sa realizuje zváracími traktormi obojstranne automatom pod tavivom. Výstužné elementy treba k plátu ustaviť, pristehovať, privariť a medzi sebou zvariť poloautomaticky pod ochrannou atmosférou CO₂. Ručné zváranie sa uskutočňuje len pri zvaroch nevhodných pre poloautomatizované zváranie.

6.6 Zváranie bloksekcí

Pomocou rozperných skrutiek sa ustavia a pristehujú bočné sekcie k dnovej sekcii.



Obr. 2 – Ustavenie a pristehovanie bočných sekcií k dnovej sekcii pomocou rozperných skrutiek

Zdroj: interné dokumenty, Slovenské lodenice Komárno, a. s., Komárno

Vnútná rámová konštrukcia sa privarí vodorovne k dnovej sekcii. Zvary sa vyhotovujú ručne obalenými elektródami ϕ 3,25; 4,0; 5,0 mm. Zo strany nákladového priestoru sa následne vodorovne ručne privarí vnútorný bok k plošine. Bočné a vnútorné plechy sa medzi sebou zavaria z vnútornej strany. Z vonkajšej strany sa vydrážkuje, vybrúsi a podloží koreň ručne obalenými elektródami. Pred stykovaním sa musia vyrovnat' okraje celej sekcie plameňom.

6.7 Zváranie objemových sekcií sekcie

Ustavené plechy v negatíve sa zavarájú medzi sebou z vnútornej strany. Koreň zvarov sa vyhotovuje poloautomaticky pod ochrannou atmosférou, výplňové a krycie vrstvy ručne obalenými elektródami. Výstužná konštrukcia sa ustaví a pristehuje medzi sebou a k obalovým plechom, zavará sa pod ochrannou atmosférou plným drôtom do hrúbky plechov 9 mm v polohe PG (zhora nadol), pri väčšej hrúbke ručne obalenými elektródami v polohe PF (zdola nahor). Na zváranie týchto spojov sa môže aplikovať aj technológia zvárania pod ochrannou atmosférou CO₂ v polohe PF, ale v tom prípade je potrebné vykonať skúšku technológie podľa predpisov GL. Postupne sa montujú vnútorné steny, prepážky, plošiny a paluba, pričom zváranie sa vykonáva ručne obalenými elektródami. Z vonkajšej strany sa vydrážkuje koreň tupých spojov obšívky, ručne sa prebrúsi a podvarí. Objemové sekcie nosovej časti (bulva) stevenovej rúry sa vyhotovia tak, že v prípravku sa zostehuje a zavará konštrukcia sekcií medzi sebou pod ochrannou atmosférou bez obalového plechu. Následne sa obalí plechmi obšívka, ktorá sa pristehuje a privarí podľa konštrukčnej dokumentácie. Objemové sekcie sa vyrovnajú plameňom.

6.8 Zváranie pri stykovaní bloksekcii

Proces zvárania sa vykonáva ručne obalenými elektródami. Pozdĺžna výstuha sa privarí k prepážkam. Plechy druhého dna, vnútorných bokov a paluby z vnútornej strany sa zavaria medzi sebou, vonkajšia strana sa vydrážkuje, vybrúsi a podvarí koreň. Plechy prvého dna a vonkajšieho boku sa zavaria medzi sebou z vnútornej strany, z vonkajšej strany sa vydrážkujú, vybrúsia a koreň zvaru sa podloží. Výstužná konštrukcia a stojiny silov nákladových priestorov sa zavaria medzi sebou ručne obalenými elektródami, stôl a pozdĺžne výstuhy stola sa medzi sebou zavaria rúrkovým drôtom na keramickej podložke. Po zváraní sa vykoná rovnanie stykov plameňom.

7. ROVNANIE

Rovnanie sa vykonáva:

- za studena ručne a strojne – za studena sa rovnajú strihané dielce (plechy, profily). Rovnanie sa vykonáva pred zostehovaním dielcov do uzlov a podzostáv,
- za tepla ohrev plameňom – za tepla plameňom sa rovnajú uzly, obšívka objektu, priečky, prepážky, steny nadstavieb, kryty nákladových priestorov ako i príslušenstvo pevného výstroja.

Rovnanie jednotlivých častí sa vykonáva v zmysle podkladu č. SP – 148-02 „Inštrukcia o rovnaní plameňom“.

Ohrev môže byť: bodový, pásový, klinový resp. ich kombinácia. Prednostné použitie jednotlivých technológií rovnania:

- bodový a pásový ohrev sa používa pri rovnaní obšívky,
- bodový a klinový ohrev sa používa pri rovnaní nadstavieb,
- bodový ohrev sa používa pre tenkostenné konštrukcie,
- klinový a pásový ohrev sa používa pri rovnaní uzlov.

7.1 Postup rovnania

Odstraňovanie deformácií po zváraní tenkostenných konštrukcií sa vykonáva v poradí:

1. Vyrovnanie palúb.
2. Vyrovnanie vnútorných stien a prepážok.
3. Vyrovnanie vonkajších stien a obšívky.

Rovnanie sa vykonáva v dvoch fázach:

1. prvá fáza spočíva v miestnom prerovnaní pred montážnymi prácami sytenárskeho charakteru v montážnych zákazkách,
2. druhá fáza spočíva v konečnom rovnaní po montáži a po dokončení zvaračských prác.

8. EFEKTÍVNA AUTOMATIZÁCIA PRODUKCIE V LODENICIACH

Súčasnosť je charakteristická extrémnym tempom v oblasti inovačných technológií. Je to príznačné takmer pre celé priemyselné odvetvie. Technológie, ktoré sa používali pred niekoľkými rokmi, sú už dnes niekoľkokrát prekonané.

Udržanie konkurencieschopnosti v lodiarstve vyžaduje výkonné a moderné výrobné zariadenia vysokej kvality. Pri stavbe lodí sa robí množstvo zvaracích úkonov, no lodný priemysel nikdy nebude mať dostatok zvaračov. Preto sú nevyhnutné nové technológie. Pre zvyšovanie produkcie a produktivity práce je nevyhnutné zvyšovať automatizáciu výrobného a pracovného procesu. Vytvárajú sa logicky dokonale usporiadané výrobné linky, ktoré sú základom. Kľúč k automatizovaným robotickým aplikáciám leží vo vysokej úrovni technológie procesu, ale aj v jednoduchosti a operatívnosti programovania.

8.1 Robotizované zvaracie linky

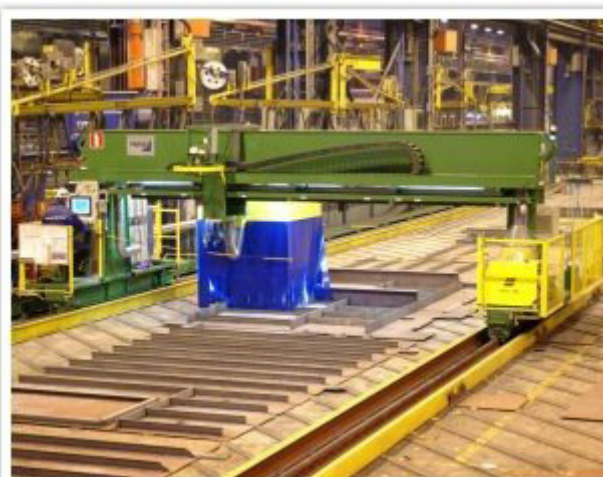
Robotizované zváranie alebo rezanie pomocou plnoautomatického programovania sa používa v rôznych štádiách pri stavbe lodí. Robotika v súčasnosti už nemusí byť ťažko dostupnou sférou inžinierstva. Naopak, je to skôr veda, ktorá sa vyvíja k praktickému úžitku človeka – operátora.

Viacere programovacie metódy, ako napríklad pokročilý off-line systém alebo revolučný on-line video systém s patentovanou kamerovou technológiou, umožňujú hladkú a rýchlu produkciu rozličných zvaracích prác. Efektívne zvaracie roboty sú prirodzene šetrné k životnému prostrediu, s dokonale kontrolovanou emisíou škodlivých splodín.

Robotizované zvaracie linky sa používajú predovšetkým na zváranie plochých panelov, dvojitého dna alebo montážnych súčastí. Linky sa vyrábajú špeciálne pre jednotlivé lodenice, vzhľadom na ich konkrétne požiadavky. Môžu pozostávať z čohokoľvek, od jedného robotického portálu až po komplexné robotizované linky a zvaracie portály.

Robotický zvarací portál sa používa pri linkovej produkcii, na horizontálne aj vertikálne zváranie rebier lodných trupov. Vyznačuje sa jednoduchým ovládaním, efektívnosťou, vďaka ktorej dochádza k zvýšeniu produkcie zvaracej linky. Parametre danej jednotky sú vždy prispôbované potrebám zákazníka.

Jednotka robotického zvaracieho portálu pozostáva z pevnej robotickej zvaracej jednotky s tromi externými osami, 6-osového zvaracieho robota, zvaracích nástrojov a programovacieho systému.



Obr. 3 – Robotický zvarací video portál

Zdroj: www.pemamek.com

Revolučný video-programovací systém je unikátnou on-line programovacou metódou. Video systém sa používa na skenovanie konkrétneho panelu a na zameranie pozícií profilov a ich krížení. Aj priemerný zvarač môže so softvérom videového systému vytvoriť zvarací program vo veľmi krátkom čase a začať prvé zváranie len po niekoľkých minútach programovania. Zabezpečuje sa tak vysoká efektívnosť pracovného procesu.

Pokročilé off-line programovacie systémy sú vhodné pri rôznych využitíach robotov na komplexnejších panelových a blokových konštrukciách. 3D CAD modely sú určené na vytváranie robotických programov v kanceláriách. K ďalším významným vlastnostiam patrí jednoduché operačné rozhranie, simulačný program, kontrola chýb a ich náprava a čiastočné kalibračné procedúry.

ZÁVER

Strojársky priemysel prichádza na trh so stále zlepšujúcimi sa zvaracími technológiami. Predstavuje to prínos aj pre lodiarstvo, ktoré ich vo veľkej miere využíva. Zváranie lodných trupov je náročný proces, pri ktorom treba vybrať správnu metódu v závislosti od požadovaných vlastností na zvarový spoj. Jednotlivé sekcie lodného trupu sa zhotovujú a zvarajú osobitne a až následne sa spájajú do konečnej podoby. Celý proces musí byť v súlade

s kvalitatívnymi požiadavkami lodného registra. Dochádza k zavádzaniu progresívnych zväracích metód s cieľom jeho zefektívnenia a zautomatizovania.

Lodné trupy sa v súčasnosti zvärajú najmä za pomoci ľudského faktora – zväračov, čo je mimoriadne náročné na ľudský potenciál. Tento nedostatok je treba odstrániť integrovaním plne-automatických zväracích liniek do lodnarskej výroby, ktoré sú oveľa efektívnejšie.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) BENKO, Bernard. *Technológia 1 – Zváranie*. Vyd. STU, Bratislava, 2004. ISBN 80-227-2163-8.
- (2) PIALA, P., KALINA, T.. *Finite element method in ship's industry – Metóda konečných prvkov v lodnom priemysle*. In: Perner's Contacts [elektronický zdroj]. ISSN 1801-674X - Vol. 5, no. 4 (2010), s. 182-186.
- (3) *Interné dokumenty, Slovenské lodenice Komárno, a. s., Komárno*.
- (4) STN EN 29692 (050025) – *Príprava zvarových plôch ocelí*.
- (5) STN EN GL 287-1.
- (6) STN EN 25 817 – *Smernica na určovanie stupňov akosti*.